

# Robottiikan taustaselvityksiä



LIIKENNE- JA  
VIESTINTÄMINISTERIÖ

## **Liikenne- ja viestintäministeriön**

### **visio**

Hyvinvointia ja kilpailukykyä hyvillä yhteyksillä

### **toiminta-ajatus**

Liikenne- ja viestintäministeriö edistää väestön hyvinvointia ja elinkeinoelämän kilpailukykyä. Huolehdimme toimivista, turvallisista ja edullisista yhteyksistä.

### **arvot**

Rohkeus

Oikeudenmukaisuus

Yhteistyö

**Julkaisun nimi**
**Robotiikan taustaselvityksiä**
**Tekijät**

**Robotiikkatiekartta:** Olli Ventä, Hannu Lehtinen (VTT), Juhani Lempiäinen (Deltatron Oy ja Robotiikkayhdistys ry), Ville Kyrki (Aalto-yliopisto), Juha Röning (Oulun yliopisto), Antti Siren (FIMA ry), Jyrki Latokartano (Tampereen teknillinen yliopisto)

**Liikenteen robotiikka:** Aki Lumiaho, Matti Kutila (VTT)

**Teknologiatiekartat ja suomalaisten yritysten kyvykkyydet:** Cristina Andersson, Jari Kaivo-oja

**Digitaalinen tietopohja ja robotisaation vaikutukset:** Risto Linturi ja Ossi Kuittinen

**Toimeksiantaja ja asettamispäivämäärä**
**Julkaisusarjan nimi ja numero**
**Liikenne- ja viestintäministeriön  
julkaisuja 2/2016**

ISSN (verkkojulkaisu) 1795-4045  
ISBN (verkkojulkaisu) 978-952-243-470-8  
URN <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-470-8>  
HARE-numero

**Asiasanat**

Robotisaatio, robotiikka, automaatio, automatisaatio, digitalisaatio

**Yhteyshenkilö**

Laura Sarlin

**Muut tiedot**
**Tiivistelmä**

Liikenne- ja viestintäministeriö ja työ- ja elinkeinoministeriö tilasivat loppuvuodesta 2014 suomalaisen robotisaatiokehitystyön taustoittamista varten kolme robotiikkaa koskevaa selvitystä. Selvitysten tarkoituksena on antaa tietoa robotiikan sovellusalueista ja niiden tarjoamista mahdollisuuksista.

Selvitykset tilattiin VTT:ltä, Jari Kaivo-ojalta ja Cristina Anderssonilta sekä Risto Linturilta ja Ossi Kuittiselta. VTT jakoi tarkastelunsa kahteen osaan: yleistä robotiikkakehitystä koskevaan *Robotiikkatiekartta*-selvitykseen ja *Liikenteen robotiikka* -selvitykseen. *Robotiikkatiekartta* kuvaa automatisaation sovellusalojen ominaisuuksia ja skenaarioita. Selvityksessä robotiikkaa tarkastellaan etenkin suomalaisesta näkökulmasta. *Liikenteen robotiikka* -selvityksessä esitetään autonomisten ajoneuvojen kehitystilannetta, tulevaisuuden näkymiä ja kehitystarpeita. Anderssonin ja Kaivo-ojan toteuttama *Teknologiatiekartat ja suomalaisten yritysten kyvykkyydet* -selvitys tarkastelee ns. AiRo-teknologiakehitystä (Artificial Intelligence and Robotics), jossa korostuu keinoälyn merkitys robotisaatiolle. Linturin ja Kuittisen selvityksessä *Digitaalinen tietopohja sekä robotisaation vaikutukset* tarkastellaan robotisaation ja sen eri osa-alueiden vaikutuksia yhteiskuntaan ja muutospaineita yhteiskuntarakenteisiin. Siinä paneudutaan myös robotisaatiokehityksen edellyttämään digitaaliseen tietopohjaan.

Kokonaisuutena robotiikkaselvitykset luovat kattavan kuvan robotiikan nykytilasta sekä tulevaisuuden kehityssuunnasta ja -tarpeista.

Publikation <b>Utredningar om robotik</b>	
Författare <b>Robotiikkatiekartat</b> (färdplan för robotisering): Olli Ventä, Hannu Lehtinen (VTT), Juhani Lempiäinen (Deltatron Oy och Robotiikkayhdistys ry), Ville Kyrki (Aalto-universitetet), Juha Röning (Uleåborgs universitet), Antti Siren (FIMA ry), Jyrki Latokartano (Tammerfors tekniska universitet) <b>Liikenteen robotiikka</b> (robotisering av trafiken): Aki Lumiaho, Matti Kutila (VTT) <b>Teknologiatiekartat ja suomalaisten yritysten kyvykkydet</b> (teknisk färdplan och finländska företags kompetens): Cristina Andersson, Jari Kaivo-oja <b>Digitaalinen tietopohja ja robotisaation vaikutukset</b> (digitalt kunskapsunderlag och konsekvenserna av robotisering): Risto Linturi och Ossi Kuittinen	
Tillsatt av och datum	
Publikationsseriens namn och nummer  <b>Kommunikationsministeriets publikationer 2/2016</b>	ISSN (webbpublikation) 1795-4045 ISBN (webbpublikation) 978-952-243-470-8 URN <a href="http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-470-8">http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-470-8</a> HARE-nummer
Ämnesord Robotisering, robotik, automatik, automatisering, digitalisering	
Kontaktperson Laura Sarlin	Rapportens språk
Övriga uppgifter	
Sammandrag För att ge bakgrundsinformation till den finländska robotiseringsutvecklingen beställde kommunikationsministeriet och arbets- och näringsministeriet i slutet av 2014 tre utredningar om robotisering. Syftet var att få information om olika tillämpningsområden för robotisering och om de möjligheter som den erbjuder. Utredningarna gjordes av statens tekniska forskningscentral (VTT), Jari Kaivo-oja och Cristina Andersson samt Risto Linturi och Ossi Kuittinen.  Statens tekniska forskningscentral indelade utredningen i två delar: en färdplan för robotisering ( <i>Roboottitiekartta</i> ) som gällde den allmänna robotiseringsutvecklingen och en utredning om robotiseringen av trafiken ( <i>Liikenteen robotiikka</i> ). Färdplanen beskriver egenskaper hos och scenarier för automatiseringens tillämpningsområden. I utredningen granskas robotiken särskilt ur finländsk synvinkel. I utredningen om robotisering av trafiken presenteras utvecklingen av, framtidsutsikterna för och utvecklingsbehoven i fråga om autonoma fordon.  Den utredning som gjordes av Andersson och Kaivo ( <i>Teknologiatiekartat ja suomalaisten yritysten kyvykkydet</i> ) granskar utvecklingen när det gäller artificiell intelligens och robotisering med fokus på den artificiella intelligensens betydelse för robotiseringen.  I Linturis och Kuittinens utredning ( <i>Digitaalinen tietopohja sekä robotisaation vaikutukset</i> ) granskas robotiseringens och dess olika delområdens inverkan på samhället och krav på förändring av samhällsstrukturen. I utredningen fokuseras även på det digitala kunskapsunderlag som robotiseringsutvecklingen kräver.  Som en helhet skapar utredningarna om robotisering en heltäckande bild av den rådande situationen, av framtida riktlinjer för utvecklingen och av utvecklingsbehov inom robotiken.	

<b>Title of publication</b> <b>Background reports on robotics</b>	
Author(s) <b>Robotics roadmap:</b> Olli Ventä, Hannu Lehtinen (VTT), Juhani Lempiäinen (Deltatron Ltd and Robotics Society in Finland), Ville Kyrki (Aalto University), Juha Röning (University of Oulu), Antti Siren (FIMA), Jyrki Latokartano (Tampere University of Technology) <b>Transport robotics:</b> Aki Lumiaho, Matti Kutila (VTT) <b>Technology roadmaps and capabilities of Finnish companies:</b> Cristina Andersson, Jari Kaivo-oja <b>Digital knowledge base and impacts of robotisation:</b> Risto Linturi and Ossi Kuittinen	
Commissioned by, date	
Publication series and number  <b>Publications of the Ministry of Transport and Communications 2/2016</b>	ISSN (online) 1795-4045 ISBN (online) 978-952-243-470-8 URN <a href="http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-470-8">http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-243-470-8</a> Reference number
Keywords Robotisation, robotics, automation, automatisisation, digitalisation	
Contact person Laura Sarlin	Language of the report
Other information	
<p><b>Abstract</b></p> <p>In late 2014, the Ministry of Transport and Communications and the Ministry of Employment and the Economy commissioned three reports on robotics. The purpose was to obtain information for a more comprehensive picture of robotisation development work in Finland and information on robotics applications and their potential. The reports were commissioned from VTT, Jari Kaivo-oja and Cristina Andersson as well as from Risto Linturi and Ossi Kuittinen.</p> <p>VTT divided its report in two parts: <i>Robotics roadmap</i>, which discusses general developments in the robotics field, and <i>Transport robotics</i>. The <i>Robotics roadmap</i> describes the properties and scenarios of automatisisation applications and it mainly examines robotics from the Finnish perspective. The <i>Transport robotics</i> report discusses the state of development and future of autonomous vehicles and their development needs.</p> <p>In <i>Technology roadmaps and capabilities of Finnish companies</i>, Andersson and Kaivo-oja review technological developments in the sector Artificial Intelligence and Robotics (AiRo), in which artificial intelligence plays a central role in robotisation.</p> <p>In <i>Digital knowledge base and impacts of robotisation</i>, Linturi and Kuittinen examine the impacts of robotisation on society and how robotisation can prompt changes in societal structures. They also discuss the digital knowledge base needed for robotisation.</p> <p>As a whole, the robotics reports provide a comprehensive overview of the current state of robotics and future development trends and needs in the sector.</p>	

## Sisällysluettelo

### Robottiikkatiekartta

1.	Tausta .....	6
2.	Robottiikan sovellusalueet, liiketoimintamallit, ekosysteemit .....	7
2.1	Sovellusalueiden peruskuvaukset .....	7
2.2	Sovellusalueet ekosysteemeinä .....	9
2.2.1	Teollisuusrobotiikka maailman mittakaavassa 2013 .....	9
2.2.2	Palvelurobotit .....	13
2.2.3	Lääketieteelliset robotit .....	14
2.2.4	Kenttärobotiikka .....	17
2.2.5	Liikenteen robotisaatio .....	20
3.	Robottiikan teknologiat .....	21
3.1	Teknologiat klusteroituina .....	21
3.2	Teknologioiden läpimurrot .....	23
4.	Suomalainen tutkimus ja koulutus .....	24
4.1	Tutkimus .....	24
4.2	Standardointi .....	26
4.3	Koulutus .....	27
5.	Johtopäätökset ja suositukset .....	28
5.1	Yleisiä suosituksia .....	28
5.2	Johtopäätökset suomalaisen teollisuusrobotiikan kehittämiseksi .....	28
5.3	Toimenpidesuosituksat palvelurobotiikan kehittämiseksi .....	29
5.4	Toimenpidesuosituksat kenttärobotiikan kehittämiseksi .....	31
5.4.1	Sairaalan sisälogistiikka .....	32
5.4.2	Arktisen itsenäisen ajon testialue .....	32
	Lähdeviitteet .....	33

### Liikenteen robotiikka

1.	Liikenteen robotiikka ja markkinat .....	34
1.1	Autonomisen ajoneuvon määritelmä .....	34
1.2	Kehityspolku kuljettajaa avustavista järjestelmistä autonomisiin ajoneuvoihin .....	34
1.3	Potentiaaliset hyödyt .....	35
1.4	Käyttäjien hyväksyntä .....	35
1.5	Lainsäädäntö .....	35
1.6	Markkinat .....	36
2.	Liikenteen robotisaation kehitystarpeet .....	36
2.1	Ympäristön havainnointi ja anturiteknologiat .....	36
2.2	Ajokäyttäytyminen, käyttäjähyväksyminen ja käyttöliittymät .....	36
2.3	Liikenneturvallisuus ja kuljettajaa avustavat järjestelmät .....	37
2.4	Liikennevirta, ruuhkautuminen ja liikenteen hallinta .....	37
2.5	Ajoneuvojen ADAS-järjestelmien kustannuksista .....	37
2.6	Logistiikka .....	38
2.7	Lentoliikenteen robotisaatio .....	38
2.8	Lentoliikenteen säädökset .....	39
2.9	Raideliikenteen robotisaatio .....	39
2.10	Meriliikenteen robotisaatio .....	40
2.11	Viranomaishyväksynnät ja lainsäädäntö .....	40
3.	Testialue ja kokeilut .....	41
	Lähdeviitteet .....	43

## **Teknologiaatiekartat ja suomalaisten yritysten kyvykkyudet**

1.	Johdannoksi: Miksi AiRo? .....	44
2.	AiRo – Artificial Intelligence & Robotics .....	45
2.1	AiRo-ohjelman fokusalueet .....	45
2.1.1	Teollisuus.....	45
2.1.2	Palvelualat .....	46
2.1.3	Tietotyö .....	46
3.	Taustaa AiRo-osaamisen kehittämiseksi .....	47
4.	Osaamisen strateginen kehittäminen Suomessa .....	51
5.	AiRo-teknologiakehityksen kannalta keskeiset teknologiaatiekartat .....	53
6.	Suomalaisten yritysten kyvykkyysien ja osaamispääoman kehittäminen .....	57
6.1	Politiikkasuositusten tausta .....	57
6.2	Suomalaisten yritysten kyvykkyudet nykyhetkessä .....	59
7.	Politiikkasuositukset .....	60
	Lähteet .....	65

## **Digitaalinen tietopohja ja robotisaation vaikutukset**

1.	Johdanto .....	67
2.	Robotisaation yleiset trendit ja yhteiskunnalliset vaikutukset .....	67
3.	Robotisaation teknologiset perusteet .....	70
4.	Robotisaation digitaalinen tietopohja .....	71
5.	Robottiikan kymmenen geneeristä teknologiaa.....	73
5.1	Robotisoitu tieliikenne.....	73
5.2	Robottilennokit .....	73
5.3	Robotisoitu tavaroiden tunnistus ja manipulointi .....	74
5.4	Robotisoitu työstö ja valmistus .....	75
5.5	Sosiaaliset robotit ja etiäiset.....	75
5.6	Diagnostiikka- ja valvontarobotiikka .....	76
5.7	Kauko-ohjattavat robottityökalut.....	76
5.8	Biotalous ja elinympäristön robotisaatio .....	77
5.9	Robottivälineet ja älykkäät proteesit.....	78
5.10	Mikro-, nano- ja biorobotit.....	78
6.	Geneeristen teknologioiden vaikutukset 20 eri arvonluotiverkostossa.....	79
7.	Rakenteisiin kohdistuvat sopeutumispaineet .....	84
	Liite 1 .....	87
	Lähteet ja viitteet .....	89

# Robotiikkatiekartta

**Olli Ventä, Hannu Lehtinen, Juhani Lempiäinen, Ville Kyrki, Juha Röning, Antti Siren, Jyrki Latokartano**

## 1. Tausta

Robotiikalla on todellista potentiaalia luoda työpaikkoja, parantaa tuottavuutta ja turvallisuutta sekä parantaa vanhenevan väestön elämänlaatua. Robotiikka on jo nyt tärkeää monella suomalaisella teollisuudenalalla. Maamme työkoneteollisuus on kansainvälistä kärkeä automaatioteknologioitten hyödyntämisessä. Robotiikan on sanottu vievän työpaikkoja, mikä aivan lyhyellä tähtäimellä voi pitää paikkansakin. Robotiikka ei kuitenkaan pelkästään korvaa ihmistä, vaan ennen muuta **tekee kilpailukykyisen ja laadukkaan tuotannon tai toiminnan mahdolliseksi**. Kaikkeen kehitykseen ja kasvuun liittyy luovan tuhon elementtejä, ja omaksumalla Suomessa robotiikkaa ja muita uusia teknologioita pysymme varmimmin kansakuntana kestäväen kehityksen ja kilpailukyvyn uralla. Robotiikka antaa pidemmällä aikavälillä mahdollisuuksia vastata väestön ikääntymisen aiheuttamiin paineisiin tukemalla ikääntyvää väestöä ja terveydenhuoltoa. Suomalaisten asenne teknologioita kohtaan on positiivisempi kuin monissa maissa. Robotiikka on monitekninen alue, jossa suomalainen korkealaatuinen osaaminen mm. ICT:ssä, automaatiassa, elektroniikassa sekä konetekniikassa tarjoaa todellisia mahdollisuuksia sekä olemassa olevalle teollisuudelle että uusille innovaatioille.

Robotin määrittäminen on haasteellista. Wikipedian on otettu hyvin lakea kuvaus: Robotti (tšek. robota "pakkotyö") tarkoittaa mekaanista laitetta tai konetta, joka osaa jollain tavoin toimia fyysisessä maailmassa. Tässä selvityksessä ei määrittelyjen yksityiskohtiin puututa, vaan **robotisaatio kuvataan sellaisena, kuin se todellisuudessa ilmenee**, niin menneisyydessä, nykyisyydessä kuin ennustetussa vuoteen 2020 ulottuvassa tulevaisuudessa. Suomalaisessa opetuksessa **robotisaatiota pidetään automaation osa-alueena**, ja robotiikan ammattilaisilla on yleensä vahva automaation monitekninen koulutus. Itse **automaatiokin monesti määritellään yhdeksi ICT:n osa-alueeksi**, samoin kuin sinne asemoidaan muita läheisiä teemoja: tekoäly, neurolaskenta, konenäkö, mittaustekniikka, signaalinkäsittely, simulointi ja monet muut. Robotiikkakin monesti hyödyntää näitä muita teknologioita, ja monitekniisyys on ilman muuta nähtävä vahvuutena ja välttämättömyytenä kuin lokeroivana. ICT:n viimeisimpiä virtauksia ovat esineiden internet, teollinen internet, big data, pilvilaskenta, software-as-a-service. Näillä **digitalisaation** ilmenemistekniikoilla on iso merkitys myös robotisaatiolle, joka on yksi vaativimmista näiden ns. muiden tekniikoiden sovelluskohteista.

Robotisaation merkityksen kasvaminen todettiin suomalaisessa järjestökentässä vuoden 2014 aikana. IEEE Finland Section, Robotiikkayhdistys, FIMA ry, jne. kokosivat alan ammattilaisista pienen työryhmän laatimaan alalle kansallista tiekarttaa (roadmap). Monet muut teollisen maailman kansakunnat, EU ym. ovat olleet luomassa omia tiekarttojaan. Sekä liikenne- ja viestintäministeriö LVM että työ- ja elinkeinoministeriö TEM olivat myös selvittämässä aktiivisesti robotisaation merkitystä. Tämä selvitys on pikainen väliotto em. laajemmasta tiekarttatyöstä, jonka em. järjestöjen ydinryhmä tuotti ko. kahden ministeriön tilauksesta muutaman viikon aikana vuodenvaihteessa 2014-15. Selvityksen sisältö perustuu ennen muuta ydinryhmän jäsenten pitkään alan kokemukseen, po. muihin ajankohtaisiin tiekarttoihin, ennusteisiin ja alan kirjallisuuteen.



Lukuisten ennusteiden kirjosta on tekstin luettavuutta ja yhtenäistämistä tehty valuuttojen muuntokurssilla 1 EUR = 1,1 USD.

## 2. Robottiikan sovellusalueet, liiketoimintamallit, ekosysteemit

### 2.1 Sovellusalueiden peruskuvaukset

EU:n Robotics Strategic Research Agenda SRA jakaa robottiikan markkinat seuraavasti: kuluttajat (robottiikan kuluttajamarkkinat, kuluttajille suunnatut robotit), julkinen sektori (sis. mm. julkisen infrastruktuurin ylläpito, ympäristöasiat, pelastustoimi, lainvalvonta), yksityinen sektori (palveluiden ja tuotteiden tuotanto yksityisellä sektorilla), liikenne ja logistiikka (ihmisten ja tavaroiden liikuttaminen, varastot), puolustus tai sotilassovellukset, valmistus, maatalous ja terveydenhuolto. Tämä sovellusalueisiin tai markkinasegmentteihin jako vastaa melko hyvin suomalaistakin tilannetta, ja pienin modifikaatioin näin dekomposoidaan ala tähänkin selvitykseen.

**Markkinasegmentit** muodostavat tämän selvityksen rungon. Taulukossa 1 tuodaan esiin markkinasegmenttien jaottelua sinänsä sekä perustietoja ja tämänhetkistä tilannetta. Kohdassa 2.2 pureudutaan eri segmentteihin huomattavasti seikkaperäisemmin, ns. **alakohtaisina ekosysteemeinä**.

Valitsemassamme osa-aluejaossa korostuu **Suomen erittäin merkittävä työkonesektori**. Suomalainen metsäharvesteri on yksi maailman instrumentoiduimmista ja automatisoiduimmista työkoneista, todellinen huipputeknologian malliesimerkki. Yrityksistä Ponsse on alan globaali johtaja, ja hyvänä kakkosena on Timberjackin perillinen John Deere Forestry. Vastaa-vasti logistiikkapuolella Suomessa ovat globaalisti erittäin vahvat Konecranes ja Cargotec. Näiden kaikkien tuotekehityksien pääosat ovat Suomessa, millä on suuri merkitys alan opetukseen, tutkimukseen, ja kokemuksen karttumiseen Suomessa. Edelleen kaivosteollisuuden merkityksen kasvu on luonut hyvät edellytykset alan koneteollisuudelle. Niinpä Sandvik-Tamrock, Metso Minerals ja Normet ovat alan vahvoja toimittajia, myös enimmäkseen vientiin asti. Näiden kaikkien lähimmät kilpailijat tulevat Ruotsista ja kauempaa esimerkiksi Japanista, Koreasta, USA:sta ja Saksasta. Metsätalous ja kaivosteollisuus ovat esimerkkejä aloista, jotka ovat **globaalisti pieniä mutta Suomelle merkittäviä**. Maatalous, rakentaminen, logistiikka ja sairaalatekniikka puolestaan ovat suuria globaalialoja, joilla on sekä suuria globaaleja toimittajia että myös muutamia yksittäisiä suomalaisia tähtiäkin, kuten taulukkoon on esimerkkeinä mainittu. Laajasti ottaen näiden alojen robottien soveltaminen perustuu tuontiin. Kenttärobottiikan segmentin volyymi (tuotteiden ja järjestelmien valmistus) Suomessa on yhteensä noin 400 M€ v. 2014 ja osuus toimialan liikevaihdosta n. 10 %. Tuotteiden markkinat ovat globaalit.

Teollisuuden roboteista on paikallaan mainita **elektroniikkateollisuuden tuotantoautomaatio**. Ala ehti Suomessa vuosituhaten vaihtuessa nousta globaaliksi toimijaksi tuotantolinjoineen, robottisoluineen jne., mutta elektroniikkateollisuuden katoamisen myötä myös vastaava robottiikkateollisuus on ollut häviämässä Suomesta ja osaajat ovat siirtyneet muille aloille. Muulle teollisuudelle robottiikkaa toimittavat Fastems, Cimcorp ym. ovat selviytyneet puolestaan hyvin. Niillä osa-alueilla, joissa Suomessa on alan valmistusta, yhteenlaskettu teknologian vienti ylittää selvästi tuonnin.

Liikenteen robotisaatiosta viitataan vastaavaan rinnakkaiseen VTT:n selvitykseen (Lumiaho & Kutila, 2015 – myös tämän julkaisun osana alkaen s. 34).

*Taulukko 1. Robotisaation sovellusalueet Suomessa. Ruudukko erittelee lyhyesti markkina-segmentit oleellisine alasegmentteineen tyypillisine liiketoimintamuotoineen ym.*

Segmentti	Ala-segmentti	Esimerkkejä	Liiketoimintamuodot	Keskeisiä toimijoita	Liikevaihto Suomessa
<b>Teollisuus</b>	Tuotanto-linjat	Hitsaus-, pakkausrobotti	Laitekauppa, järjestelmät, urakointi, palvelu. Vienti > Tuonti	Yaskawa (JPN), KUKA (GER), ABB (SUI), Orfer (FIN), Optofidelity (FIN)	100 MEUR
	Materiaalin-käsittely	Kuljetin, autom.varasto vihivaunu	Laitekauppa, järjestelmät, urakointi, palvelu. Vienti > Tuonti	Cimcorp (FIN), Fastems (FIN), Rocla (FIN), Solving (FIN)	10 MEUR
<b>Palvelu-robotiikka</b>	Hupi	Nelikopteri, rakennussarjat	Vähittäiskauppa, nettikauppa		0,1 MEUR
	Apu	Autonom. ruohonleikkuri, pölynimuri	Vähittäiskauppa, nettikauppa	Husqvarna (SWE), Samsung (KOR) Bosch (GER)	1 MEUR
	Hoiva	Etäläsnäölo, terapia	Laitekauppa, järjestelmät, palvelu		0,1 MEUR
<b>Sairaala-tekniikka</b>		Leikkausrobotit tomografia	Laitekauppa, järjestelmät, urakointi, palvelu	Intuitive Surgical, Medtronic, GE (US), Philips (NED), Planmeca (FIN)	1,5 MEUR
<b>Kenttä-robotiikka</b>	Kaivos-koneet	Poraus kone, dumper, kuljetin	Laitekauppa, järjestelmät, urakointi, palvelu	Sandvik, Normet (FIN), Metso Minerals (FIN), Caterpillar (US)	10 MEUR
	Metsäkoneet	Harvesteri	Laitekauppa, järjestelmät, palvelu	Ponsse (FIN), JDF (US)	
	Maatalous	Traktori-työkone-yhdistelmä	Laitekauppa, järjestelmät, palvelu	Valtra (FIN) / Acgo (US)	
	Rakentaminen	Tiekarhu, kaivinkone	Laitekauppa, järjestelmät, palvelu	Caterpillar (US), Komatsu (JAP), Novatron (FIN)	
	Logistiikka	Lukki, kurottaja, trukki	Laitekauppa, järjestelmät, urakointi, palvelu	Konecranes (FIN), Cargotec (FIN), Kone (FIN), Rocla (FIN), Terex (US), Siemens (GER), ABB (SUI)	10 MEUR
	Valvonta	Nelikopteri (prof.)	Laitekauppa, järjestelmät, urakointi, palvelu		
	Turvallisuus	IR-sensor, pelastus ja palontorjunta, raja- valvonta	Laitekauppa, järjestelmät, urakointi, palvelu	Bronto Skylift (FIN)	
	Sotilassov.			Patria (FIN)	
<b>Liikenne</b>	Ajoneuvot	Semi-, highly-, fully-autonomous cars		Daimler, VW, Audi, BMW (DE), Volvo (SE), SWARCO (AU), Elektrobot EB (FIN), Symbio (FIN), Tieto (FIN)	
	Raide-liikenne	Automaattinen metro, people mover		Alstom (F), Ansaldo STS (I), Bombardier (CND), Hyundai Rotem (KOR), Siemens (DE)	
	Lento-liikenne	Miehittämättömät ilma-alukset UAV (autonomiset, etäohjatut)		Airbourne Robotics (AT), Aeryon (CND), Indela (BY)	
	Sisävesi-, meriliikenne	Auto pilot => Miehitettömät komentosillat		Napa (FIN), Rolls Royce (GBR), Eniram (FIN), Meyer Turku (FIN)	

## 2.2 Sovellusalueet ekosysteemeinä

Edellä hahmoteltu markkinasegmenttijako on hyvin pragmaattinen ja todellinen: alalla toimijat mieltävät ne selkeästi omikseen. Tässä luvussa kuvataan lyhyesti ja vain kaikkein oleellisimmilta osin eri markkinasegmenttejä ekosysteemeinä. **Hyvässä ja kestävästi kasvavassa ekosysteemissä** on monia nk. reilun kilpailun edellytyksiä ja kulttuureja. Tällaisella alalla on yhtenäinen käsitys ajureista, teknologioista, toimintatavoista, jopa sanastoista. Alalle on kehitetty yhdessä monenlaista hyödyllistä teknistä ja muuta infrastruktuuria, joka samalla kertoo sallii toimijoiden keskinäisen kilpailun mutta myös edistää sen osien monenlaisen hyödyllisen ja välttämättömän yhteensopivuuden. Standardointi ja lainsäädäntö ovat avaintekijöitä, mutta ne eivät riitä. Tarvitaan osaamista, toimintatapoja ja suunnittelu- ym. työkaluja tai alustoja (platform), joilla tehokkaasti tuotetaan oikeasti yhteensopivuutta. Tällöin alalle pystyy tulemaan isoja ja pieniä toimijoita, kilpailu, kehitys ja kasvu pystyvät toteutumaan järkevällä tavalla, on olemassa pelisäännöt ja menettelyt turvallisuuden, tietoturvan ja eettisyydenkin toteutumiseksi. Ekosysteemin terveen kehittymisen vetureina voivat olla alan vahvat toimittajat, vahvat OEM-toimijat tai vahvat integroijat, toisinaan vahvat ostajat tai loppukäyttäjät (esim. autoteollisuus), tai tilanteesta riippuen valistuneet ja asiantuntevat viranomaiset tai jopa valtiovalta. Toisinaan yksi vahva toimija pääsee vuosikausiksi määräävänsä globaaliin markkina-asemaan (esim. Microsoft), jolloin tällainen toimija sanelee tehokkaasti yhteensopivuuden pelisäännöt ja myös kolmansien osapuolten roolia markkinoilla.

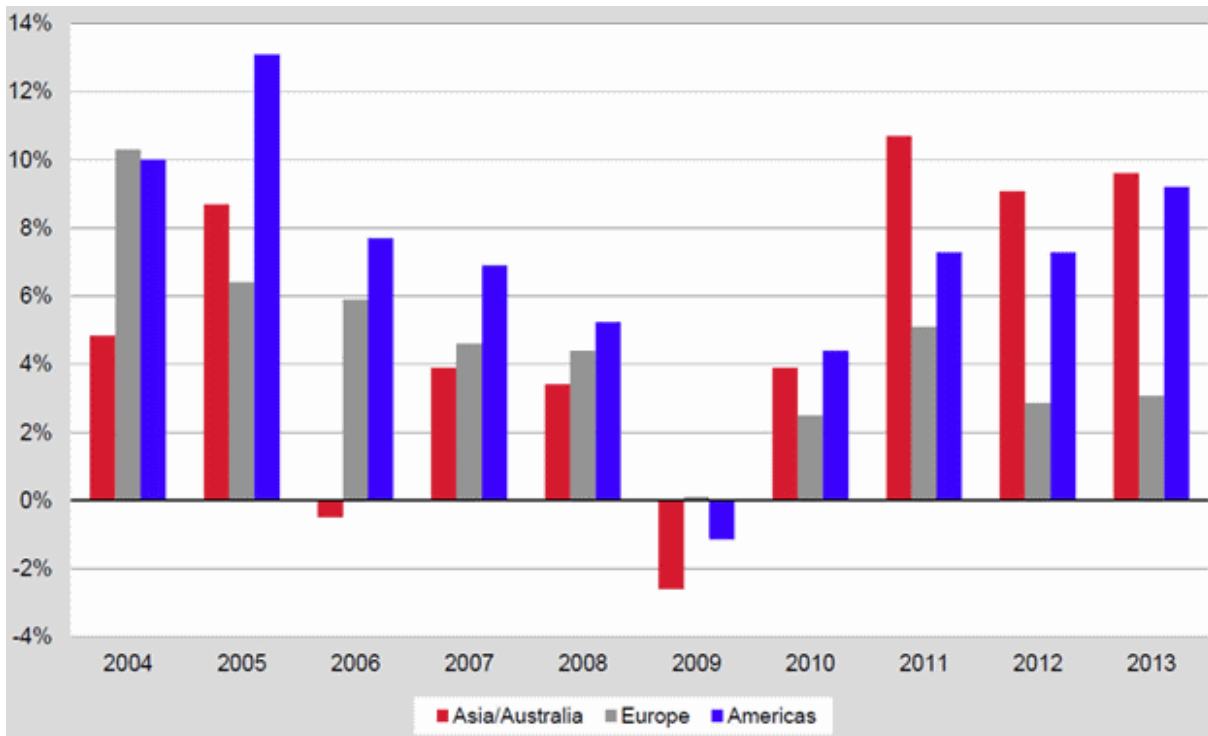
On aika tavallista, että uusilta aloilta puuttuu vähän kaikkea terveen ekosysteemin kulttuuria, kun teknologiajohtajat pyrkivät kilvan kasvattamaan alaa ja kaappaamaan siitä microsoft- tai googlemaisen markkinajohtajan paikan. Mikäli selvää voittajaa ei synny, alan ostajat eivät ole asettamassa yhteisiä vaatimuksia tms., ala kyllä kasvaa jonkin aikaa, mutta pysähtyy keskisuuren toimijoiden pattitilanteeseen, jossa pienillä ja innovatiivisilla toimijoilla – tai kansakunnilla – on vähäiset mahdollisuudet päästä markkinoille mukaan. Globaaleja standardejakin syntyy kitsaasti, tai kukin leiri kehittää rinnakkaisia tai kilpailevia standardeja (maittain, maanosittain, markkina-alueittain). Puhelinten NMT:tä ja GSM:ää on pidetty hyvinä esimerkkeinä avoimista ja alaa aidosti kehittäneistä standardeista. Teollisuusautomaatiossa puolestaan ovat vallinneet pitkään maakohtaiset kenttäväylästandardit, joiden jokaisen takana on ollut sitkeästi feodalismien oppien mukainen, omia asemia puolustava keskisuuri toimittaja. Niinpä matkapuhelinten tapainen nopea renessanssi on jäänyt näkemättä.

Robottiikan osa-alueilla on valitettavasti joko huonosti tai vain paikallisesti kehittynyt yhtenäiskulttuuri.

### 2.2.1 Teollisuusrobotiikka maailman mittakaavassa 2013

Teollisuusrobotiikka on ollut koko 2000-luvun keskimäärin 6 % nosteessa lukuun ottamatta vuotta 2009. Maailmanlaajuisesti teollisuusrobotiikan liiketoiminnan arvo on 26 miljardia EUR.

Maailmalla on v. 2013 tilastojen mukaan käytössä n. 1,4 miljoonaa teollisuusrobottia, joista suurin osa Aasiassa. Kasvu Kaukoidässä näyttäytyy tilastoissa vahvana erityisesti Kiinan osalta. Maailman vuosittaisista 179.000 robotin investoinneista menee Kiinaan 40.000 robottia. Sovellusaloista autoteollisuus on perinteisesti suurin robotiikan soveltaja 39 %:n osuudella, elektroniikkateollisuus seuraavana 20 %:n osuudella. **Suomen perinteisesti hyvä sijoittuminen kansainvälisissä robottitilastoissa on selvässä laskussa, kun mittarina on robottitiheys laitteita/10.000 teollisuustyöntekijää.** Euroopan osalta valmistavan teollisuuden karkaaminen Aasiaan näkyy myös tilastoissa. Eurooppa ei ole enää saavuttanut soveltajana vanhaa johtoasemaansa v. 2008 finanssikriisin jälkeen. Teollisuuden investointien toipuminen USA:ssa näyttäytyy tilastoissa harhaisesti. Osa teollisuudesta on todella palannut Kaukoidästä takaisin Amerikkaan, mutta pitää muistaa myös valmistavan teollisuuden valtava volyymipudotus -30 % finanssikriisin aikoihin.

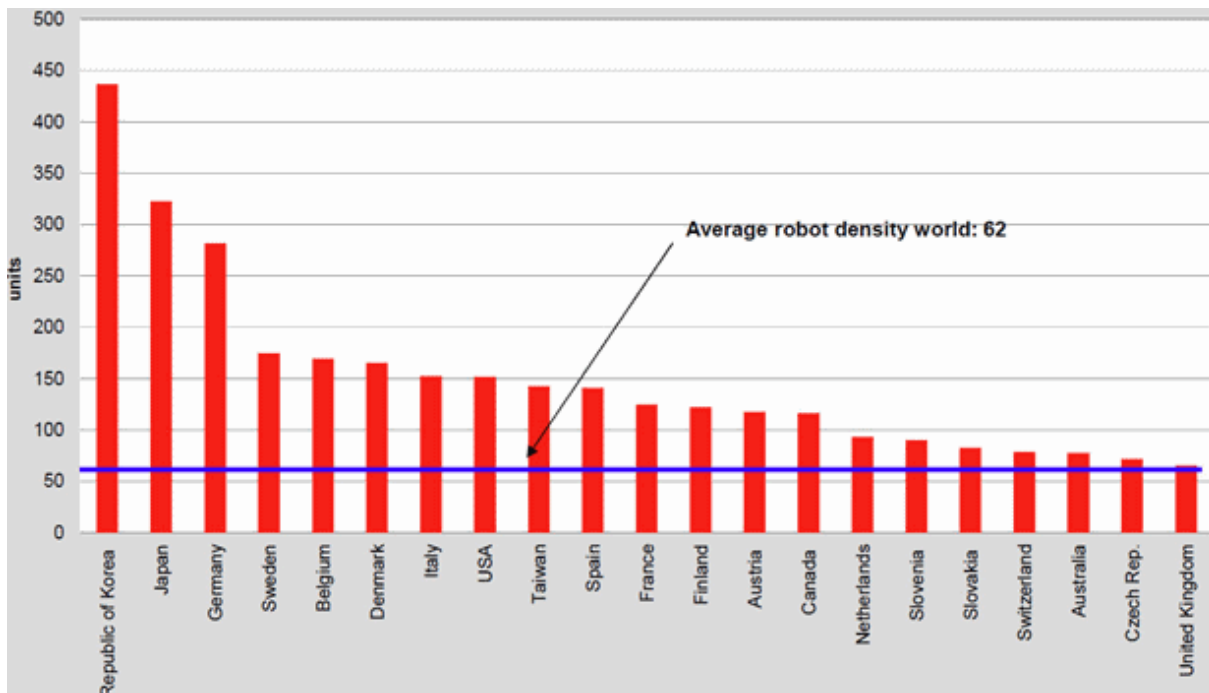


Kuva 1. Arvio käytössä olevien robottien vuosimuutoksesta (Lähde: IFR World Robotics 2014).

Laitekehityksessä robottien kommunikointikyky on parantunut ohjelmistotekniikan kehityksen myötä. Laitehinnat ovat vakioituneet, eivätkä siis enää juuri laske, mutta vuosittain arvioidaan saatavan n. 8 % lisää tuotantotehoa uudella laitteella teknisen kehityksen ansiosta.

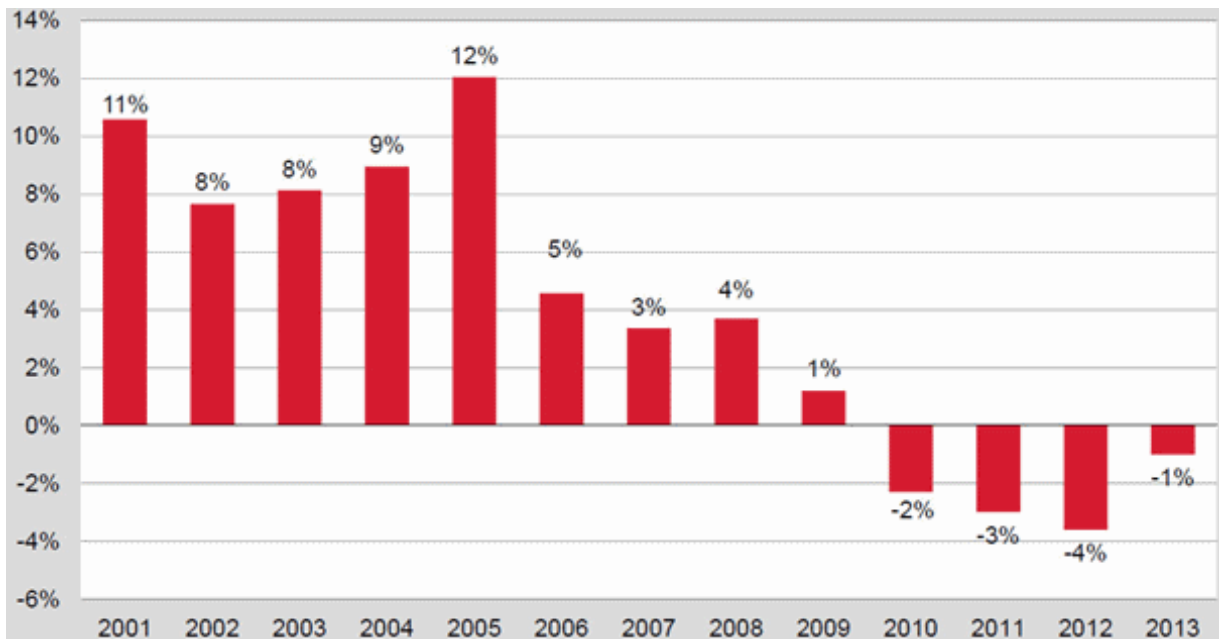
**Robotiikassa painopiste on liikeohjattujen laitteiden sijaan voimaohjattujen laitteiden kehityksessä.** Tällöin uusimman anturointitekniikan ja tarkan voimaohjauksen avulla voidaan järjestelmistä tehdä turvallisia sulkematta robottia häkkiin. Työntekijä voi lähitulevaisuudessa toimia turvallisesti myös robotin työalueella. Tämä kehitys antaa huomattavia uusia mahdollisuuksia ihmisen ja robotin yhteistyön järjestämiseen teollisuudessa sekä säästää n. 10 % järjestelmän investoinnissa parantuneena tilankäyttönä ja aitojen poistamisena. Kv. turvastandardeja robotiikkaan ISO/TS 15066 kehitetään parhaillaan tätä täysin uutta toimintatapaa varten. **Tässä kehitystyössä eurooppalaiset tutkimuslaitokset ja laitevalmistajat ovat kehityksen kärjessä.** Uusia robottikäsivarsikonsepteja tähän tekniikkaan perustuen tulee markkinoille vuosittain. Tekninen kehitys tapahtuu nyt kolmella sektorilla, joissa myös patentointi on voimakasta:

1. robotin mekaniikan muotoilussa, jotta vaatteet eivät takerru robotin rakenteisiin
2. robotin mekaanisten joustoelementtien ja modulaarisuuden kehittämisessä
3. robotin ohjausjärjestelmien mahdollistamien mekaanisten joustojen kehityksessä



Kuva 2. Teollisuusrobottien lukumäärä valmistavan teollisuuden 10 000 työntekijää kohden (Lähde: IFR World Robotics 2014).

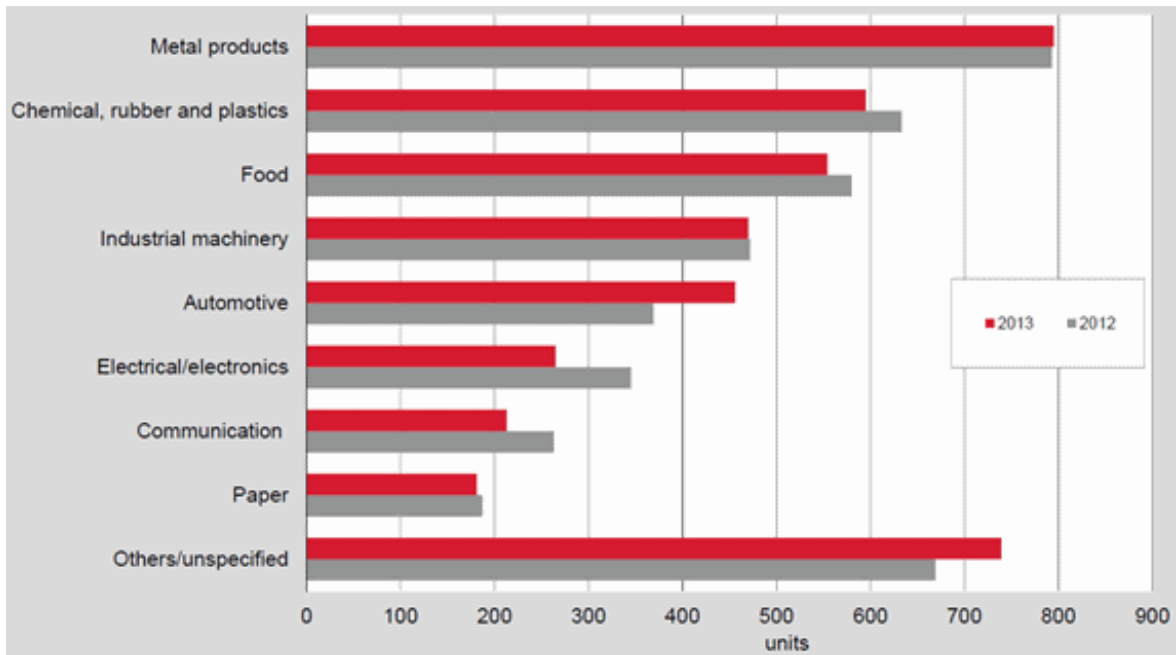
Teollisuusrobotiikan liiketoiminta on kehittynyt Suomessa 1970-luvun lopulta lähtien. Liiketoiminta muodostuu nykyisin laitteiden maahantuonnista, järjestelmäkaupasta, omien robotti- ja oheislaitteiden valmistuksesta ja ohjelmistojen suunnittelusta, laitehuollosta sekä käytettyjen laitteiden kaupasta. Kaikki maailman suurimmat laitemerkit ovat edustettuina Suomessa. Liikevaihtotietojen 2013 mukaisesti 50 alalla toimivan yrityksen **yhteenlaskettu liikevaihto oli 190 MEUR. Robotiikassa toimii 1.000 henkeä suurelta osin järjestelmäliiketoiminnan alueella.** Yhteenlasketut liiketulokset olivat 5 MEUR negatiiviset parin suuremman kehitystyöhön panostaneen laitevalmistajan vuoksi. **Alan liiketoiminta on kauppataseemme kannalta positiivista,** eli järjestelmävientimme on aina ylittänyt laitetuonnin. Suomalainen järjestelmäosaaminen on kansainvälisesti korkeatasoista. Kantava teema on erityinen **joustavuus piensarjatuotannossa älykkään ohjelmistotekniikan avulla.** Suurin lisäarvo yrityksissä tulee erityisesti tehokkaasta järjestelmäsuunnittelusta sekä omista oheislaitteista ja -ohjelmistoista. Robottien sovellusalat ovat suuruusjärjestyksessä: kappaleenkäsittely, koneiden palvelu, hitsaus, kokoonpano, työstö, pakkaus ja maalaus.



Kuva 3. Arvio Suomessa käytössä olevien robottien vuosimuutoksesta (Lähde: IFR World Robotics 2014).

Teollisuusrobotiikka vastaa 4 % kaikista konepajateollisuutemme investoinneista vuosittain, muilla teollisuudenaloilla oleellisesti vähemmän. **Finanssikriisin jälkeen tuplatulla poist-oikeudella ei ole saavutettu tuotantoinvestointien tasoon muutosta.** Liiketoiminnan tulevaisuuden epävarmuus, vapaa teollinen tuotantokapasiteetti markkinoilla sekä rahoitusvaikeudet investointeihin ja sukupolvenvaihdoksiin liittyen jarruttavat edelleen uusinvestointeja robotiikkaan. **Suomalainen teollisuusrobotiikka on supistunut v. 2009 lähtien**, eli investoinnit eivät enää vuosiin ole kattaneet poistuvaa tuotantokapasiteettia. **Kannattavuuden takaamiseksi yhä useampi laitevalmistaja ja järjestelmätoimittaja suuntautuu vientitoimintaan.** Tyypillinen teollisuusrobotin käyttöikä Suomessa on 15 - 20 vuotta. Laitekauppa on hiipunut vuoden 2005 reilusta 500 laitteesta n. 250 robotin investointiin vuosittain. Teollisessa käytössä on tänään n. 5.000 teollisuusrobottia, koulutuksessa ja tutkimuksessa n. 500 laitetta. Autoteollisuutemme investoi uusiin laitteisiin n. kerran kymmenessä vuodessa, myös juuri vuonna 2013. **Elektroniikkateollisuuden valmistuksen volyymin poistuminen maasta Nokian matkapuhelimien valmistuksen päättyttyä näkyy myös selvästi tilastossa.** Kokoonpanotekniikan osaamiseen tämä heijastui alan laite-toimittajiin ja muutos vaikutti laajalti negatiivisesti myös elektroniikkateollisuuden ulkopuolella.

Robotiikan ekosysteemi ei Suomessa toimi optimaalisesti. Potentiaalisimmat robotiikan käyttäjät, valmistavat yritykset, saavat tilauksia erittäin pienissä paloissa kilpailuilla markkinoilla. Niinpä tuotantoinvestoinnit tulevaisuuteen jäävät usein tekemättä kaupallisen epävarmuuden vallitessa. Muutos tapahtui varsin jyrkästi v. 2008 finanssikriisin aikoihin, jolloin myös Nokia purki ison osto-organisaationsa Suomessa. Alalla arvellaan, että näillä kahdella samanaikaisella tapahtumalla on selkeä syy-seuraussuhde.



Kuva 4 Suomessa käytössä olevien teollisuusrobottien lukumäärä tuotantotyypeittäin 2012-13 (Lähde: IFR World Robotics 2014).

### 2.2.2 Palvelurobotit

Palvelujen robotiikka jaetaan tyypillisesti B2B- ja B2C-alueisiin sen mukaan, onko robotisoidun palvelun kohteena yritys (B) vai kuluttaja (C). Palvelurobotit ovat lähteneet luontaisesti kehittymään aluksi kalleimmille sovelluksille yrityksille. Maailmanlaajuinen

liiketoiminnan volyyymi oli 3 miljardia EUR, joka on siis vain 11 % teollisuusrobotiikkaan verrattuna. Puolustusteollisuuden laitteet muodostavat tästä suurimman osan, joten siviililaitteiden kehitys on vasta alkamassa. Tässä raportissa ei käsitellä puolustusteollisuuden robotteja. Tosin rajanveto puolustusteollisuuden ja siviililaitteiden välille on keinotekoinen. Erityisesti Suomessa Puolustusvoimissa korostuu mielenkiinto kaksikäyttölaitteiden hyödyntämiseen.

Vakiintuneita B2B-aiheen merkittäviä siviilisovelluksia ovat navetoiden lypsyrobotit, erilaiset sisä- ja ulkologistiikan laitteet sekä sairaaloissa leikkausrobotit. Leikkausrobottien markkinajohtajan patenttien umpeutuminen lähivuosina tuonee huomattavaa kilpailua leikkausroboteihin. Huikeista kasvunäkymistä huolimatta B2B-liiketoiminnan kasvu oli v. 2013 vain 4 % vuodessa, joten kehitys ei edennyt ollenkaan kasvuennusteiden mukaan. **Liiketoiminnan ennustetaan edelleen kuitenkin kasvavan vuoteen 2020 mennessä yli 20 miljardin euron** eli seitsemässä vuodessa seitsenkertaiseksi. Miehittämättömät lentolaitteet ovat erittäin suuren kehitystyön alla juuri nyt. Teknologinen



Kuva 5. Pölynimuritarjous lähikaupassa tammikuussa 2015.

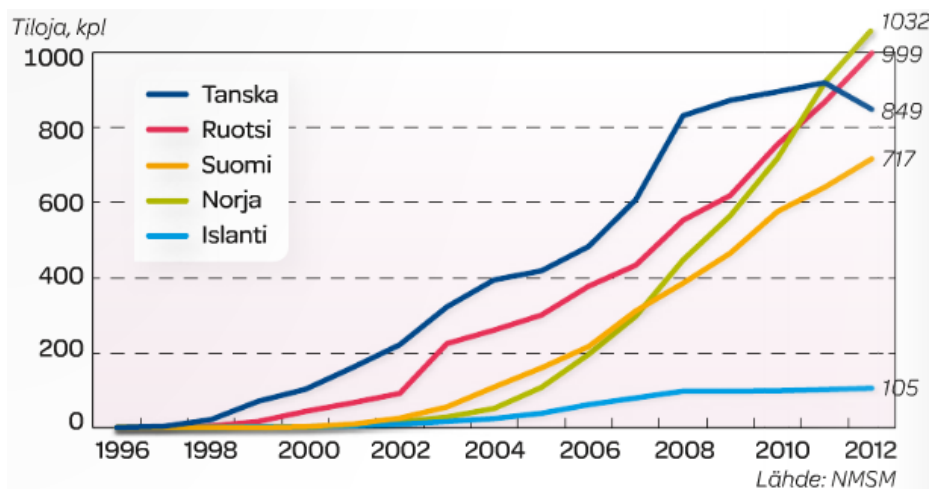
kehitys tuottaa kiihtyvällä vauhdilla uusia teknisiä tuotteita, joita yleisesti koneenrakennusala voi hyödyntää useissa konetyypeissä robottimaisten toimintojen toteuttamiseen.

**Rajoituksena on suurelta osin ainoastaan kaupallisen mahdollisuuden vikkellä oivaltaminen.**

B2B-sovelluksissa Suomessa on hyviä kehitysmahdollisuuksia. Logistiikkalaitteiden kehitys on meillä voimakasta ja siellä innovatiivisia sovelluksia tulee sekä teollisuuteen että maatalouteen. Lypsyrobotiikka on myös 2000-luvulla lyönyt itsensä läpi ja nykyisin maitotilojen uudet navetat ovatkin 70 tai 140 lehmän kokoisia lypsyasemien lukumäärän mukaan. Suomi on tosin laahaa investoinneissa muita pohjoismaita hieman jäljessä.

Kuluttajille suunnattuja (B2C) robotteja ovat nykyisellään muun muassa pölynimurit (Kuva 5), ruohonleikkurit ja koulutusta tukevat laitteet. Vuonna 2013 koko kuluttajarobotiikan volyymi on ollut 1,5 miljardia EUR, eli puolet ammattirobotiikasta. Alan kasvua vuoteen 2020 saakka ennustetaan yli 10 miljardin euron. Kehityksen voimakkain painopiste on nyt pölynimureissa, nelikoptereissa ja koulutuslaitteissa, suurelta osin erittäin halvassa markkinasegmentissä, jonka kehitys ja valmistus tapahtuvat Kaukoidässä. **Myöskään kuluttajille suunnatuissa roboteissa eivät positiiviset liikevaihtoennusteet ole pitäneet viime vuosina.** Uusia läpimurto-sovelluksia on tullut varsin vähän markkinoille.

Pölynimurirobotiikan laajamittaista soveltamista Suomessa hidastavat sisustuskulttuuriimme oleellisesti liittyvät räsymatot. Lattiapintamme poikkeavat tässä yksityiskohdassa Kaukoidän laitekehittäjien tuotemäärittelyistä huomattavasti. Nykyiset laitteet on toistaiseksi suurelta osin suunniteltu toimimaan tasaisilla lattiapinnoilla.



Kuva 6. Automaattilypsytilojen määrä Pohjoismaissa (Lähde: Valio<sup>1</sup>).

### 2.2.3 Lääketieteelliset robotit

Leikkausrobotit ovat saavuttaneet kaupallisen menestyksen viime vuosina. Yli 2500 daVinci®-robottia on yli 2000 sairaalassa nykyisin käytössä. Niistä Suomeen on investoitu 5 laitetta keskussairaaloihin pehmeiden sisäelinkudosten leikkaamiseen. Hyödyt ovat olleet ilmeisiä. Käsityötä pienemmät ja tarkemmat avanteet kudoksissa nopeuttavat huomattavasti potilaan paranemista ja sairaalassaolo on lyhentynyt. Laitteen yksikköhinta on 1,5 MEUR, joten niiden yleistymistä keskussairaaloiden ulkopuolelle jarruttaa korkea hinta.

<sup>1</sup> [http://issuu.com/maitojame/docs/maito\\_ja\\_me\\_3\\_2013\\_netti/48](http://issuu.com/maitojame/docs/maito_ja_me_3_2013_netti/48), 30.1.2015



BCC Researchin raportin<sup>2</sup> mukaan robotin avustuksella tehtävän luukirurgian markkinoista on 70 % USA:ssa ja kokonaismarkkinat kasvavat keskimäärin 41 % vuodessa välillä 2014–19. Wintergreen Research ennustaa<sup>3</sup>, että kuntoutusrobottien markkinat kasvavat vuoden 2014 markkinakoosta 43 MUSD kokoon 1 800 MUSD vuonna 2020.



Kuva 7. daVinci-leikkausrobotin varhaisia prototyyppijä (Lähde: SRI International<sup>4</sup>, 2007).

Röntgenlaitteiden valmistus on Suomessa ollut perinteisesti vahvaa. Terveystieteiden työntekijöiden säteilyannoksen minimoimiseksi röntgenlaitteisiin on tulossa myös robottimaisia piirteitä. Nämä edesauttavat sujuvampaa työskentelyä laitteen ympäristössä. Kehitystyö on alalla vahvaa.

Edulliset terapiarobotit n. 10 kpl, ovat olleet koekäytössä muutamissa vanhusten palvelutaloissa Helsingissä, Vantaalla ja Oulussa. Esimerkki Kuva 8<sup>5</sup> – Paro<sup>6</sup>. Laitteiden hintataso on 5 kEUR/kpl. Kokemukset niiden käytöstä eivät ole yksiselitteisen myönteisiä.



Kuva 8. Paro-terapiahylje (A. Biggs, 2005).

<sup>2</sup> <http://www.bccresearch.com/market-research/healthcare/medical-robotics-mrcas-market-hlc036f.html>, 30.1.2015

<sup>3</sup> <http://wintergreenresearch.com/reports/RehabilitationRobots.html>, 30.1.2015

<sup>4</sup> [https://en.wikipedia.org/wiki/SRI\\_International](https://en.wikipedia.org/wiki/SRI_International) & [http://commons.wikimedia.org/wiki/File:SRI\\_Trauma\\_Pod.jpg](http://commons.wikimedia.org/wiki/File:SRI_Trauma_Pod.jpg), 30.1.2015

<sup>5</sup> [https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paro\\_robot.jpg](https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Paro_robot.jpg), 30.1.2015

<sup>6</sup> <http://www.innohoiva.fi/tuote/paro-hyljerobotti/>, 7.12.2015

Tämä johtuu terveydenhoidon järjestelmästämmä, joka tuo kotihoidosta laitoshoidon ainoastaan varsin huonokuntoisia vanhuksia, jotka eivät enää saa merkittävää kontaktia ympäristöönsä.

Terapia- ja etäläsnäolorobottien parhaat sovelluskohteet vanhuksille ovatkin kotihoidossa ennen hoivakotivaihetta. Toisaalta kuntien mahdollisuudet rahoittaa laitteita kotihoidon asiakkaille ovat erittäin rajalliset. Niinpä hoivarobottien tulevaisuus Suomessa on hyvin haasteellinen. Terapia- ja etäläsnäolorobotit rauhoittavat muistisairasta ja antavat hoitajille mahdollisuuden suunnitella työnsä mahdollisimman tarkoituksenmukaisesti. Näin työolosuhteet kevenevät henkisesti ja fyysisesti kuormittavassa työssä. Lääkkeiden käyttöä voidaan vähentää, mikä puolestaan lisää potilaan vireyttä ja elämän laatua.

Tutkimuksen kohteena ovat voimakkaasti myös erilaiset exoskeleton-laitteet (ulkopuolinen tukiranka) tai aktiiviset proteesit, joiden avulla halvaantunut potilas voisi palauttaa raajojen liikkumiskykyä. Kaupallisia menestystarinoita alalla ei vielä ole.

Sekä hoitajilla että hoidettavilla on hoivarobotteja kohtaan lisäksi kuitenkin eettisiä arvovalintoja tehtävänä (Kuva 9).

## Robottien käytön arvoperusteet selvitettävä

Viime aikojen keskustelussa on havaittavissa suurta innostusta siihen, että robotit tulevat osaksi arkea. Saman toi esille Michael Laakasuo (K&k 8.1.). Robottien on ennustettu ratkaisevan hoitotyöhön osallistumisen. Robotti tarkoittaa alkuperäisesti pakkotyötä. Nyt tulevaisuudentutkijat esittävät, että robotit korvaavat auttavat kädet. Ne toimivat myös leikkikaluina. Mutta mikä on robottien todellinen tarve?

Perimmiltään kysymys on vakavasta asenteesta. Onko niin, että hoitavia käsiä ja inhimillistä lämpöä ei löydy hyvinvointivaltiota, joka samalla kärsii ennätysuudesta työttömyydestä? Onko olemassa vaara, että digitalisaatio suunnataan väärin, jos apuvälineistä tulee isäntiä? Tekniikan edistyessä on aina käytävä arvokeskustelu, mihin kehittyvää teknologiaa käytetään. On syytä käynnistää hanke, jossa selvitetään hoitotyön arvoperusteet, robottien käyttö ja tehtävät hoitotyön apuvälineenä. Hoitavia käsiä tarvitaan myös tulevaisuudessa.

**SPJ Airaksinen**  
eläkeläinen  
Töölö

Kuva 9. Kirkko ja kaupunki -lehti, 21.1.2015.

## 2.2.4 Kenttäröbotiikka

### 2.2.4.1 Kaivoskoneet

Kaivoksissa robottityyppistä automaatiota käytetään tyypillisesti malmin ja sivukiven kuljetuksessa sekä poraamisessa. Moniporaisten ”porausjumbojen” poraa liikuttavat puomistot ovat toiminnallisesti lähellä teollisuusrobotteja. Ne poraavat kallioon reikiä jopa vuorokauden itsenäisesti. Sandvikin AutoMine-järjestelmän<sup>7</sup> osana ovat itsenäisesti ajavat kaivoskuorma-auto ja kuljettava lastauskone (LHD, Kuva 10). Ne molemmat liikkuvat ahtaissa kaivoskäytävissä nopeammin kuin ihmisen kuljettamat ajoneuvot. Tämä liikeohjaus tehdään seuraamalla luolien kallioseiniä ilman navigoinnin laiteasennuksia luoliin. Lyhyissä lastausvaiheissa käytetään teleoperointia.

Suomessa on ollut kiitettävästi radioteknistä osaamista. Sen avulla on kehitetty radiojärjestelmiä, jotka toimivat luotettavasti ahtaista tiloista ja niissä olevista työkoneista huolimatta. Niitä tarvitaan esimerkiksi teleoperoinnissa lastauksen yhteydessä. Teleoperointi ja toiminnan valvonta tehdään etäyhteydellä jopa 800 km päässä työkoneista ilmastoidussa toimistossa.



*Kuva 10. Sandvikin AutoMine-teleoperointiasema ja itsenäinen lastari (LHD) (Lähde: Sandvik Mining ja Mikko Ovaska).*

### 2.2.4.2 Metsätalous

Robottiikalla on merkitystä suomalaisessa metsätaloudessa pääasiassa kahdesta perspektiivistä: Yhtäältä Suomi on kansainvälistä kärkeä metsäkoneiden valmistamisessa. Toisaalta Suomen metsätalouden kilpailukyky riippuu kustannustehokkuudesta ja puutavaran laadusta, korkea laatu merkitsee parempaa tuottoa, ja robotiikka tarjoaa

<sup>7</sup> <http://arkisto.lehti.tek.fi/content/mainarin-hommasta-tulee-siisti%C3%A4-sis%C3%A4ty%C3%B6t%C3%A4>, 30.1.2015



kehitysmahdollisuuksia puutavaran laadun ja puutavaralajien virtojen hallintaan ja tehostamiseen.

Metsäkoneet ovat pitkälti instrumentoituja, mutta toistaiseksi yhä pääosin käsi ohjattuja. Niiden automaatioaste on yhä nousussa. Suomessa metsäkoneiden valmistukseen liittyy sekä suurta että pientä teollisuutta. Alalla on olemassa vahva kansallinen infrastruktuuri, koulutus ja tutkimus. Pitemmällä aikavälillä koneelliset ratkaisut metsän uudistamiseen (mm. istutus, taimikon hoito) ovat välttämättömiä tuottavuuden ja kannattavuuden kasvattamiseksi.

Puutavaran laadun ja sahatuotteiden monipuolistamisen kehittämisessä olennaista ovat kattavat metsien puuston mittaukset. Robotiikka tarjoaa uusia mahdollisuuksia kattavampien mittausten toteuttamiseksi sekä maasta että ilmasta. Puunmittauslainsäädännössä on otettu vastikään huomioon automaation tarpeet. Metsänmittaustietojen julkisuus tulee toteutumaan jatkossa.

#### 2.2.4.3 Maatalous

Robotiikan teknologioilla on maataloudessa kolme pääsovellusta: peltoviljelyssä käytettyjen työkoneiden automaatio, lypsyrobotit maidontuotannossa sekä eläintuotannon palvelurobotit (mm. navettojen ja sikaloiden siivous). Näiden lisäksi robotiikkaa voidaan käyttää myös mm. puutarhatuotannossa. Tilakokojen kasvu luo edellytyksiä edistyneemmän automaation käyttöönottoon.

Traktoreiden (ja vastaavien työkoneiden) miehitetty automaattiajo on jo kypsän tuotteen tasolla. Myös saattueajo, jossa kuljettaja ohjaa ensimmäistä konetta ja muut seuraavat automaattisesti perässä, on mahdollista. Täsmäviljely (ympäristösyys) sekä jäljitettävyyden vaatimukset lisäävät automaation tarvetta ja hyötyjä. Peltoviljelyn täysi automatisointi on haastavaa, koska mm. järjestelmän logistiikan (esim. lastaus) automatisointi tuottaa haasteita. Kansallisena erityispiirteenä Suomessa suuri osa pelloista koostuu pienistä peltolohkoista, joiden välillä kuljetaan yleisiä teitä. Tästä syystä autonomisen liikenteen lainsäädäntö tulee vaikuttamaan jatkossa myös autonomisten järjestelmien käyttömahdollisuuksiin peltoviljelyssä.

Maidontuotannossa lypsyrobotit ovat mahdollistaneet tilakokojen kasvun. Eläintuotannossa palvelurobotit ovat yleistymässä ja mahdollistanevat vastaavantyyppisen kasvun. B2B-sovelluksissa Suomessa on hyviä kehitysmahdollisuuksia. Lypsyrobotiikka löi 2000-luvulla itsensä läpi ja nykyisin maitotilojen uudet navetat ovatkin 70 tai 140 lehmän kokoisia lypsyasemien lukumäärän mukaan. Suomi on tosin laahaa investoinneissa muita pohjoismaita hieman jäljessä.

#### 2.2.4.4 Maarakennus, rakentaminen

Väylärakentamisessa Suomi on eturintamassa työkoneautomaation soveltamisessa. Työkoneet saavat maastosuunnitteluohjelmistolta ohjeet siitä, miten maata tulee siirtää. Nämä ohjeet ovat parin senttimetrin tarkkuudella, standardoidun tietoteknisen määrittelyn mukaisia ja sisältävät myös kuvauksen lopputuloksen halutusta korkeudesta ja muodosta. Tätä tekniikkaa



Kuva 11. Maarakentamisen visio (Lähde: Oulun Yliopisto).

hyödynnetään nykyisellään sekä ratatyömailla että isoimmilla tietyömailla. Keilaimella selvitetty maanpinnan muodot ovatkin edesauttamassa varsin useiden työkohteiden suunnittelussa. Nyt jo vakiintunut toiminta on luonut alalle erittäin edistyksellisen pienten yritysten muodostaman liiketoiminnan.

Rakentamisen robotiikka on erittäin vaatimatonta. Potentiaali on suurta, mutta merkittäviä läpimurtoja ei tutkimustoiminnasta liiketoimintaan ole syntynyt. Alustavasti näyttää siltä, että betonirakenteiden itsenäiset purkurobotit olisivat ensimmäisiä yleistäviä kaupallisia laitteita työolosuhteiden (pöly, melu, työn raskaus) vuoksi.

#### 2.2.4.5 Logistiikka

Suomessa on vahvaa osaamista varastoissa ja logistiikkakeskuksissa käytettävien AGV-vihivaunujärjestelmien suunnittelussa ja valmistuksessa sekä maailmanlaajuisesti johtava asema satamien automaattisessa kontinkäsittelyssä ja siihen liittyvässä raskaassa kenttärobotiikassa. Tämän automaation ja robotiikan volyymi suomalaisilla yrityksillä on 100 – 200 M€. Siitä n. 2/3 tehdään Suomessa, loput yritysten ulkomaisissa yksiköissä. Sen sijaan kehittämistyöstä valtaosa tehdään kotimaassa ja Suomessa toimivat globaalit veturiyritykset ovat luoneet ympärilleen laajan toimittajaverkoston, josta löytyy suuri määrä vaativan automaation ja robotiikan asiantuntemusta esim. navigoinnin, paikannuksen, ympäristön havainnoinnin, etäoperoinnin, koneryhmien hallinnan ja kommunikoinnin aloilla.

Satamien automaatio on vasta alussa. Niiden automatisointi merkitsee suuria projekteja ja kokonaisjärjestelmien toimituksia ja Suomella on jo hyvä jalansija tässä suurissa mahdollisuuksissa tarjoavassa robotiikan sektorissa. Se kehittyy kuitenkin nopeasti ja siksi on olennaisen tärkeää tunnistaa alan todelliset kehittämistarpeet ja niiden vaatimat toimenpiteet, jotka pitävät yllä kotimaisten yritysten innovaatio- ja kilpailukykyä. Toimituksista kilpailevat konevalmistajan ohella myös suuret automaatio- ja ohjelmistotalot.

Satamien, suurten varastojen ja logistiikkakeskusten robotiikka on poikkeuksetta suurten järjestelmien toimituksia. Suuria kokonaisuuksia tai alueita automatisoidaan kerralla, ihmisten kuljettamat koneet väistyvät ja alueet suljetaan muulta liikenteeltä ja ulkopuolisilta. Toimittajilta edellytetään kykyä hallita yksittäisen koneen lisäksi suuria koneryhmien ohjausjärjestelmiä ja jopa koko varaston tai sataman toiminnanohjausjärjestelmiä. Lisähaastetta tuo loppuasiakkaiden keskuudessa korostunut tarve koneiden ja järjestelmien rajapintojen standardointiin, joka tekee mahdolliseksi eri valmistajien järjestelmien toiminnan samassa ympäristössä.

Logistiikan puolella robotiikkaa vievät eteenpäin samat ajurit kuin aikanaan teollisuudessa: tuottavuuden ja turvallisuuden kasvutavoitteet. Varastoissa ja satamissa tavarankuljetuksen läpimenoaika ja hukkaprocentti ovat päämääriä, joilla tuottavuutta mitataan. Vain automaattiset koneet ja järjestelmät ovat niin hallittavissa ja tuottavat riittävästi tietoa, joiden avulla toimintaa tuottavuutta on mahdollista kasvattaa uudelle tasolle. Kuljettajien vaihtuvuus ja alhainen koulutustaso luovat lisätarvetta automaatiotason nostamiseen.

AGV-vihivaunuille on olemassa turvallisuusstandardit ja ne voivat esimerkiksi toimia osin samoissa tiloissa ihmisten kanssa. Raskaan logistiikkarobotiikan kehitystä hidastaa vielä vakiintuneiden ratkaisuiden puute. Tyypillisesti koneet liikkuvat suljetulla alueella. Niitä seurataan ja tarvittaessa ohjataan alueella olevasta valvomosta käsin. Usein jokin yksittäinen liike tai työvaihe suoritetaan etäohjauksessa. Raskaiden automaattisten koneiden toiminta ainakin osittain ihmisten kuljettaman kaluston rinnalla olisi merkittävä harppaus, mutta vielä ei ole kyetty määrittelemään turvallisuusstandardeja, jotka edistäisivät näiden uusien ratkaisuiden käyttöönottoa. Alan valmistajat ja asiakkaat tekevät jatkuvaa yhteistyötä ja lisääntyneiden toimitusten avulla tilanne alkaa vähitellen olla valmis standardointityöhön.

#### 2.2.4.6 Valvonta, turvallisuus

Tulipalojen sammutus ja pelastustehtävät ovat voimakkaan kehitystyön kohteena autonomisille robottilaitteille. Niiden avulla voidaan lähestyä vaarallisia kohteita, joihin ihminen ei voi mennä esim. luoksepäästävyuden, kuumuuden tai säteilyn vuoksi. Fukushima ydinvoimalaonnettomuuden yhteydessä kohteeseen räätälöidyt robotit osoittivat tehonsa erittäin vaikeissa olosuhteissa. Suomessa alan toimintaa ei juuri ole, Tikasautojen osaamisen ja valmistuksen kautta on mahdollista saada kehitystyötä lisätyksi myös Suomessa. Automaattiset vartiointirobotit ovat vähin erin yleistyneet suurten teollisuusalueiden ja valtiorajojen valvonnassa.

BCC Research (2013) ennustaa<sup>8</sup> (Kuva 12), että vartiointin ja tarkkailun robottimarkkinat kasvavat noin 10 % vuodessa välillä 2013–2018. Tyypillisiä kohteita ovat tavaratalot, ostoskeskukset ja varastoalueet. Koska alueet ovat suhteellisen vähän muuttuvia ja vartiointiaikaan vähäliikenteisiä, niin vartiointin teknologia liikeohjauksen, aistinten, videosiirron ja teleoperaation osalta on hyvin ratkaistu. – Lisäksi yleistyvät nelikopterit antavat uusia vartiointimahdollisuuksia ja kustannuskilpailukykyä. Monen nelikopterin käyttö tehokkaasti kuitenkin vaatii optimointia ja järjestelmäintegraatiokykyä. Lisäksi joudutaan optimoimaan erilaisten aistinten käyttö kustannusten kannalta automaattisesti kussakin sovelluksessa.

Application	CAGR% 2013–2018
Assistive living	12.0
Logistical support	11.3
Cleaning and inspection	11.3
Construction and demolition	10.5
Couriers and guides	9.6
Surveillance	9.2
Bomb and land mine disposal	9.2
Military space	9.1
Home security	9.1
Research and development	9.1
Average for all 26 applications	5.6

*Kuva 12. Nopeimmin kasvavat sovellukset 2013-18 (Lähde: BCC Research, Copyrighted Material, All rights reserved).*

#### 2.2.4.7 Sotilassovellukset

Sotilaalliset robottijärjestelmät ovat olleet monella robotiikan alalla kehityksen kärjessä viimeiset vuosikymmenet. Itsenäisiä ja teleoperaoituja lentäviä, sukeltavia, pinta-alkuksia ja maastoajoneuvoja on kokeiltu ja markkinoilla. Wintergreen Research ennustaa<sup>9</sup>, että sotilaallisten maalla kulkevien robottiajoneuvojen markkinat kasvavat vuoden 2013 markkinakoosta 4,5 miljardin USD kokoon 12 miljardia USD vuonna 2019. Keskimääräinen kasvu vuodessa on noin 9 % (Kuva 12) tai 10 % TechNavion mukaan<sup>10</sup>. Sotilaat pyrkivät myös hyödyntämään siviilisovelluksia varten kehitettyä tekniikkaa, kuten edellisen kappaleen vartiointijärjestelmiä. Varsinaisen robottiautomaation lisäksi sotilaat käyttävät ”älykkäitä” ammuksia ja pommeja sekä risteilyohjuksia<sup>11</sup> sekä teleoperaointia.

#### 2.2.5 Liikenteen robotisaatio

Lumiaho & Kutila (2015) ovat tehneet liikenteen robotiikasta tällä raportille rinnakkaisen raportin, joka julkaistaan myös osana tätä julkaisua alkaen sivulta 34.

<sup>8</sup> <http://www.bccresearch.com/market-research/engineering/robotics-market-technologies-eng001d.html>, 30.1.2015

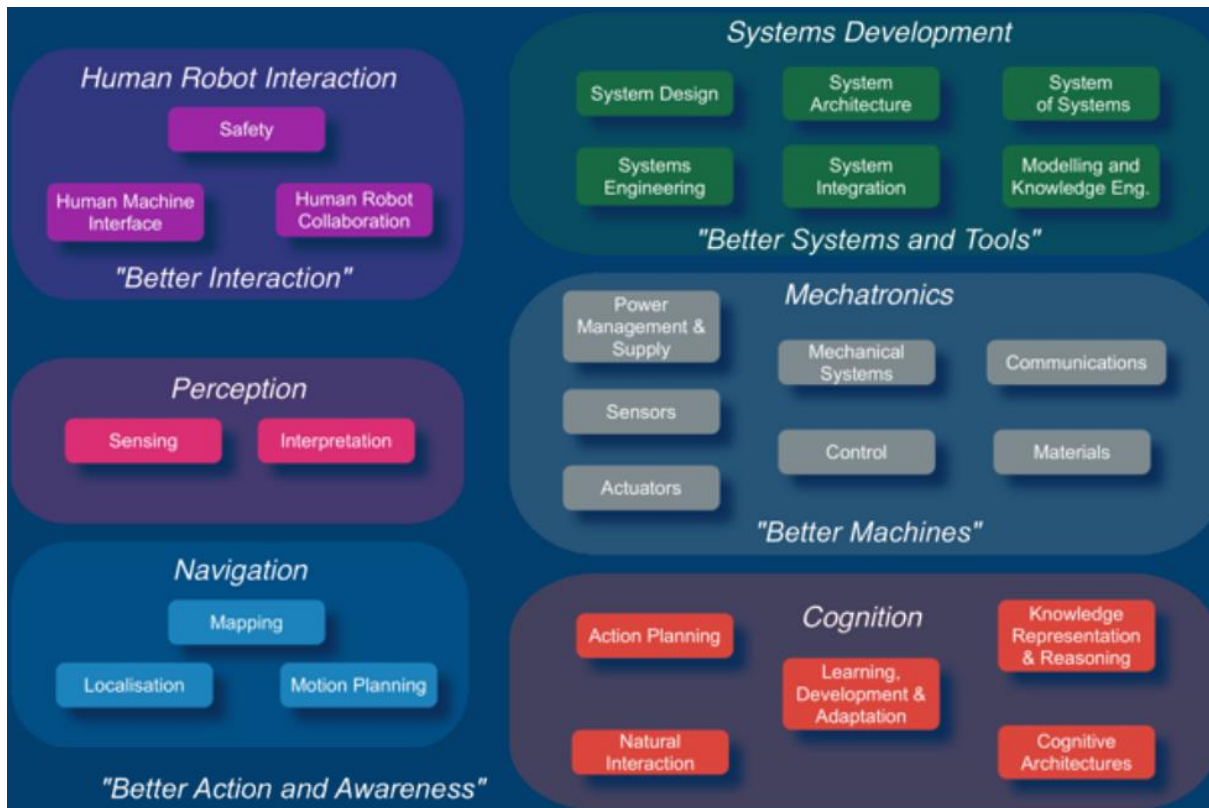
<sup>9</sup> <http://wintergreenresearch.com/reports/Military%20Ground%20Robots.htm>, 30.1.2015

<sup>10</sup> <http://www.technavio.com/report/global-military-robots-market-2014-2018>, 30.1.2015

<sup>11</sup> <http://fi.wikipedia.org/wiki/Risteilyohjus>, 30.1.2015

### 3. Robottiikan teknologiat

#### 3.1 Teknologiat klusteroituina



Kuva 13. Robottiikassa käytetyt yleisimmät teknologiat (Robotics SRA in EU<sup>12</sup>, 2014).

Robotit ovat luonteeltaan monitekniisiä järjestelmiä. Siten niihin liittyvät teknologiat kehittyvät kahta reittiä: Ensimmäiseksi teknologioita kehitetään nimenomaisesti robottisovelluksiin (robottiikan ydinteknologiat). Tämä kehitys on välttämätöntä, koska robottijärjestelmiin liittyy ominaispiirteitä, jotka eivät ole tyypillisiä muille järjestelmille. Toisaalta robottien kehitystä tehostaa robottiikkaa lähellä olevien muiden teknologia-alueiden kehitys. Merkittävän vaikutuksensa robottien viimeaikaiseen kehitykseen ovat antaneet mm. tietokoneiden laskentatehon ja muisti- sekä tallennuskapasiteetin kehitys, langattoman tiedonsiirron sekä akku- ja anturitekniikan kehitys. Robottien teknologista kehitystä arvioitaessa on siten tärkeää ottaa huomioon kehitys sekä ydinteknologioissa että tukevilla teknologia-alueilla. Toiseksi on ensiarvoisen tärkeää huomioida, että pelkkä tukevien teknologioiden osaaminen ei riitä kilpailukykyisten robottijärjestelmien luomiseksi vaan ydinteknologioiden kompetenssi on välttämätöntä.

Eurooppalainen robottiikan strateginen tutkimusagenda (SPARC SRA, 2014) jakaa robottiikan teknologiat yllä olevan kuvan (Kuva 13) mukaisesti seuraaviin kokonaisuuksiin:

- mekatroniikka (mechatronics), sisältäen tässä tapauksessa lähinnä robotteihin kuuluvat laitekomponentit (anturit, toimilaitteet, näiden ohjaus, tehrolähde, materiaalit, tietoliikenne)
- järjestelmän kehitys (systems development), sisältäen robottijärjestelmien suunnittelun, mallinnuksen ja kehityksen menetelmät ja työkalut

<sup>12</sup> [http://www.eu-robotics.net/cms/upload/PPP/SRA2020\\_SPARC.pdf](http://www.eu-robotics.net/cms/upload/PPP/SRA2020_SPARC.pdf), 30.1.2015

- ihmisen ja robotin vuorovaikutus (human robot interaction), sisältäen ihmisen- ja koneen välisen vuorovaikutuksen, näiden yhteistyön sekä turvallisuuden
- ympäristön havainnointi (perception), sisältäen anturitiedon käsittelyn ja sen tulkinnan ymmärrykseksi
- liikkuminen (navigation), sisältäen robotin paikannuksen, kartoituksen ja reitin suunnittelun
- älykkyys (cognition), sisältäen tiedon mallinnuksen, päättelyn sekä oppimisen.

Seuraavassa kunkin yllä olevan nykytilaa sekä kehitysnäkymiä esitetään lyhyesti perustuen pääosin Eurooppalaiseen tutkimusagendaan (SPARC SRA, 2014) sekä Yhdysvaltojen robotiikan tiekarttaan (US Roadmap, 2013). Esitetyn kehityksen aikaperspektiivi on nykyhetkestä vuoteen 2020.

Mekatroniikan osalta tärkeimpiä käynnissä olevia kehityskulkuja ovat *joustavien mekaanisten järjestelmien* kehitys turvallisuuden sekä energiatehokkuuden lisäämiseksi, *monianturitekniikan* kehitys mm. luotettavuuden lisäämiseksi, *antureiden kehitys vaikeampiin olosuhteisiin, energian takaisinotto* mekaanisista järjestelmistä energiatehokkuuden lisäämiseksi sekä toimilaitteiden *anturipohjainen säätö mekaanisesti joustavien* turvallisten järjestelmien luomiseksi.

Robottijärjestelmien kehityksen osalta tavoitteena on laajentaa nykyisiä järjestelmäsuunnittelun menetelmiä robottijärjestelmille paremmin sopiviksi. Erityisesti haasteina ovat mm. *yhteisten arkkitehtuurien ja rajapintojen määrittely* usein monista eri komponenteista koostuvien robottijärjestelmien suunnittelun helpottamiseksi sekä *suunnittelumenetelmien ja työkalujen kehitys* kehitystyön kustannusten alentamiseksi.

Ihmisen ja robotin vuorovaikutuksen merkitys on kasvamassa, koska tulevat robotit toimivat yhä enemmän yhteistyössä ihmisen kanssa samassa fyysisessä tilassa. Tärkeimpiä kehityspolkuja ovat *robottien ohjelmointi opettamalla, fyysinen vuorovaikutus* esimerkiksi ihmisen ja robotin suorittaessa yhteistä tehtävää sekä *vuorovaikutuksen turvallisuuden* kehittäminen.

Havainnoinnin tärkein viimeaikainen kehitys on edullisten 3-D-antureiden tulo markkinoille. Merkittäviä kehityskulkuja ovat *monianturitekniikan* kehitys, antureiden rajapintojen sekä havaintotiedon *standardointi* komponenttimarkkinan luomiseksi, *ympäristön (kuten sään) vaihtelua sietävien menetelmien* kehitys, *kohteiden tunnistuksen ja 3-D muodon mittauksen* kehitys sekä *yllättävien tapahtumien erottaminen*.

Robottien liikkumisen teknologiat ovat kehittyneet voimakkaasti viime aikoina ja teknologiaperusta mahdollistaa mm. kaupalliset kuluttajasovellukset. Kehitystä nähtäneen erityisesti *muuttuvissa ympäristöissä liikkumisen*, liikkumisympäristön *kohteiden merkityksen ymmärtämisen*, usean robotin *yhteistyössä liikkumisen* sekä useasta tietolähteestä muodostettujen *karttojen yhdistämisen* alueilla.

Robottien älykkyyden kehitystä tukee käynnissä oleva voimakas kehitys tekoälyssä ja koneoppimisessa (mm. tiedon louhinta ja luonnollisen kielen ymmärtäminen). Robottien toiminta fyysisessä maailmassa erottaa ne kuitenkin koneoppimisen valtavirrasta. Robottien älykkyyden osalta kehitystä nähtäneen *pitkäaikaisessa (robotin elinikäisessä) oppimisessa*, tiedon jakamisen ja yhdistämisen mahdollistavissa *kognitiivisissa arkkitehtuureissa, ihmisiltä ja toisilta roboteilta oppimisessa, luonnollisen kielen käytössä* oppimiseen sekä *toiminnan, suunnittelun ja oppimisen yhdistämisessä*.

Yhteenvetona yllämainittujen teknologisten kehityskaarien voidaan olettaa lisäävän seuraavia kyvykkyyksiä:



1. *Yhteistoiminta ihmisen kanssa.* Robotit siirtyvät toimimaan yhteistyössä ihmisen apuna mm. niiden turvallisuuden lisääntyessä.
2. *Useiden robottien yhteistyö.* Järjestelmien toiminnallisuus saadaan aikaan usean robotin koordinoitulla yhteistyöllä.
3. *Robottien käyttö vaikeammissa olosuhteissa.* Robottien käyttö ennalta osin ennalta tuntemattomissa ympäristöissä kodeista ulkotiloihin mahdollistuu erityisesti havainnointiteknologioiden sekä robottien älykkyyden kehittyessä.

### 3.2 Teknologioiden läpimurrot

Automaattisten järjestelmien teknisiin läpimurtoihin ja tuotteiden ja järjestelmien yleistymiseen tarvitaan tyypillisesti seuraavat tapahtumat ja ilmiöt rinnakkain. Mikä tahansa niistä – ja muu tapahtuma – voi estää läpimurron. Kyseessä on tyypillinen muna-kana-ongelma. On vaikea ennustaa, milloin kaikki esteet poistuvat kokonaan. Tällöin alkaa voimakas hyödyntäminen vrt. GSM-puhelimet.

- Järjestelmien ja niiden alijärjestelmien ja komponenttien tuotantomäärät täytyy saada niin suureksi, että niitä voidaan valmistaa massavalmistuksen keinoin – sarjakoon ollessa kuitenkin vaikka yksi.
- Menetelmien, laitteiden ja rajapintojen oltava niin selkeitä ja standardoituja, että monet toimijat voivat tuottaa laitteita ja palveluja ja osajärjestelmiä. Tämä laskee tuotantokustannuksia ja kilpailu elinkaarikustannuksia.
- Ohjelmistojen tulee soveltua suurelle määrälle osajärjestelmiä ja käyttötapoja. Ohjelmistoalustan on hyvä olla vapaasti käytettävissä.
- Osajärjestelmät tulee suunnitella automaattisesti valmistettavaksi.
- Yhteydet taustajärjestelmiin – esimerkiksi tavaravirtausten logistiikkaan – tulee olla hyvät. Robottien käyttöympäristö tulee olla tarvittavilta osin instrumentoitu, jotta robottijärjestelmä ymmärtää mitä ympäristössä tapahtuu ja voi ohjata sen osajärjestelmiä – esimerkiksi hissejä. – Tarvitaan siis järjestelmäintegraatio.
- Kaikille osapuolille tulee olla saatavilla hyötyjä tai selkeä liiketoimintamahdollisuus.

Seuraavassa käydään läpi sovellusalueittain vastikään tapahtuneet sekä vuoteen 2020 mennessä odotetut teknologiset läpimurrot ja murrokset, joiden uskotaan aiheuttavan suurimpia vaikutuksia kullakin sovellusalueella. Monet sovellusalueet voivat kuitenkin hyödyntää samoja teknologioita, minkä vuoksi aluksi esitetään lyhyt katsaus teknologioihin, joissa Suomalainen osaaminen on kansainvälistä huippua.

Suomalaiset osaamisalat, joilla tietämys on huipputasoa ja jo jalostunut tuotteiksi ja palveluiksi, ovat erityisesti

- paikannusteknologiat (mm. Navitec Oy, työkoneteollisuus), hieman rajoitetummin myös robottien navigointi kokonaisuudessaan; ja
- robottien ja vastaavien järjestelmien simulointi (mm. Visual Components Oy, Delfoi Oy, Mevea Oy).

Näiden lisäksi merkittävää teknologista osaamista on mm. näköjärjestelmissä sekä etäohjattujen järjestelmien kehittämisessä.

Teollisuusrobotiikassa tärkeimmät viimeaikaiset teknologiset läpimurrot ovat voimaohjauksen sekä käyttöliittymien kehittyminen. Voimaohjaus ja -anturointi on mahdollistanut ihmisen ja robotin toimimisen samassa tilassa turvallisesti (tietyn rajoittein, mm. rajoitettu liikenopeus). Sama kehitys on myös muuttamassa robottien käyttöliittymää siten, että ihminen voi ohjelmoida robotteja näyttämällä perinteisen ohjelmoinnin sijaan, mikä tuo ohjelmoinnin useammille käyttäjille ohjelmointityön helpottuessa ja siten lisää järjestelmän joustavuutta ja vähentää ohjelmoinnin kustannuksia.

Kuluttajille suunnatuissa palveluroboteissa kuluttajaelektroniikan yleinen kehitys on tuonut monet anturit, esimerkiksi kamerat, kiihtyvyysanturit sekä GPS:t, tarjolle myös robotiikkaan kuluttajatuotteille kilpailukykyiseen hintaan. Kuluttajalaitteissa merkittävä teknologinen painopiste on siten anturitiedon jalostus korkeamman tason havainnoksi. Toinen merkittävä kehityskohde on ihmisen ja robotin vuorovaikutus robottien helppokäyttöisyyden parantamiseksi. Toistaiseksi kuluttajille suunnatut robotit on suunniteltu fyysisesti niin pieniksi ja heikoiksi, että ne eivät voi vahingoittaa ihmistä. Kuluttajamarkkinan laajetessa suurempiin robotteihin myös turvallisuuteen tähtäävistä teknologioista lienee tulossa keskeisiä.

Ammattikäyttäjille suunnatuissa palveluroboteissa, esimerkiksi lääketieteellisissä roboteissa, kunkin sovellusalueen erityispiirteet vaikuttavat merkittävästi teknologioiden merkitykseen. Riippuen sovellusalueesta kaikki yllämainitut teknologiat voivat olla mahdollistavia tekijöitä, joskin ihmisen ja robotin yhteistoiminta lienee tälläkin sektorilla yksi keskeisistä kehityskohteista.

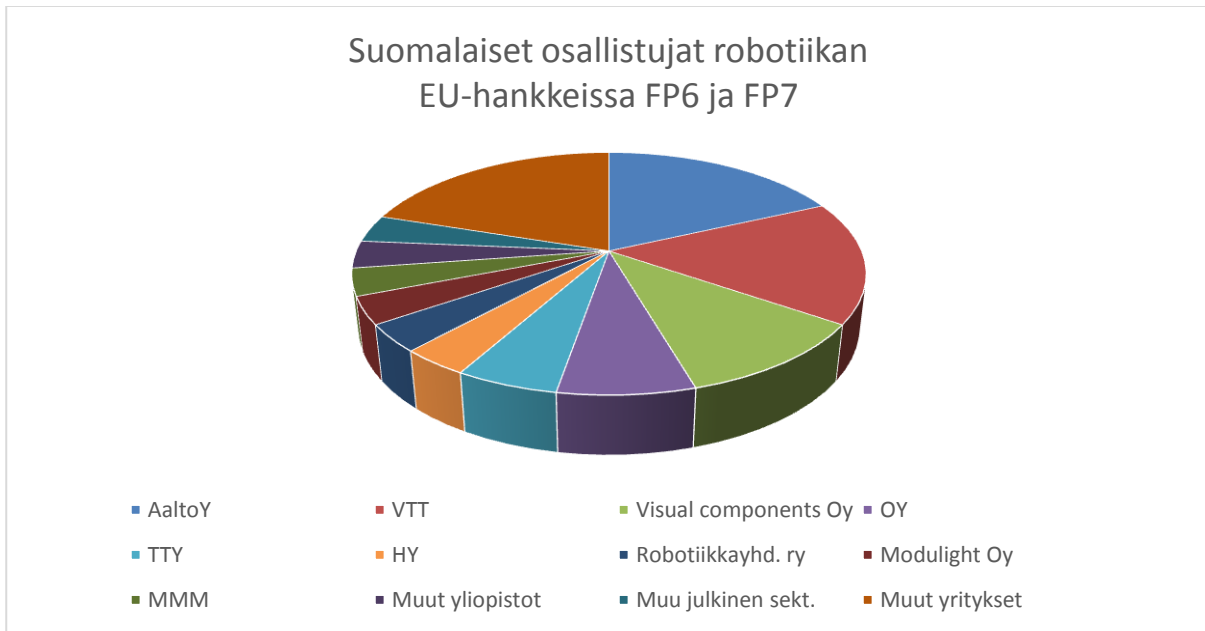
Kenttärobotiikassa merkittävin kehitys tähän mennessä on navigoinnin ja paikannusteknologian kehittyminen pisteeseen, jossa luotettavuus ja tarkkuus ovat riittäviä esimerkiksi traktoreiden automaattiajoon, nosturin konttiin tarttumiseen ilman ihmisen avustusta sekä kaivoskoneen autonominen kulkeminen ahtaassa tunnelissa. Automaation kannalta huomattavaa kehitystä on tapahtunut myös mm. puomiliikkeiden ohjauksen ja kuoman hallinnan alueella, joka näkyy liikenoikeuksien, tarkkuuden ja värähtelyjen hallinnan kasvuna. Yksi kehitys on ulkotilojen paikannusteknologian kehittyminen pisteeseen, jossa luotettavuus ja tarkkuus ovat riittäviä esimerkiksi traktoreiden automaattiajoon. Usean autonomisen koneen yhteistoiminta muodostanee kehityksen painopisteen tällä sektorilla. Lähiaikoina ulkotilojen kenttärobottien turvallisuusteknologioiden voidaan odottaa kehittyvän tasolle, jossa ainakin rajoitettu toiminta ihmisen kanssa jaetussa ympäristössä on mahdollista.

Seuraavana läpimurtona on odotettavissa ratkaisevia kehitysaskelaita koneiden kyvyssä havaita ja ymmärtää ympäristöään ja siinä olevia ihmisen ja esineitä luotettavasti. Se tulee avaamaan mahdollisuudet koneiden ja ihmisten yhteistoiminnalle samalla alueella. Nopeat tietoliikenneyhteydet kaikkein syrjäisimmillekin työmaa-alueille tulee puolestaan olemaan ratkaiseva kenttärobotiikan yleistymiselle.

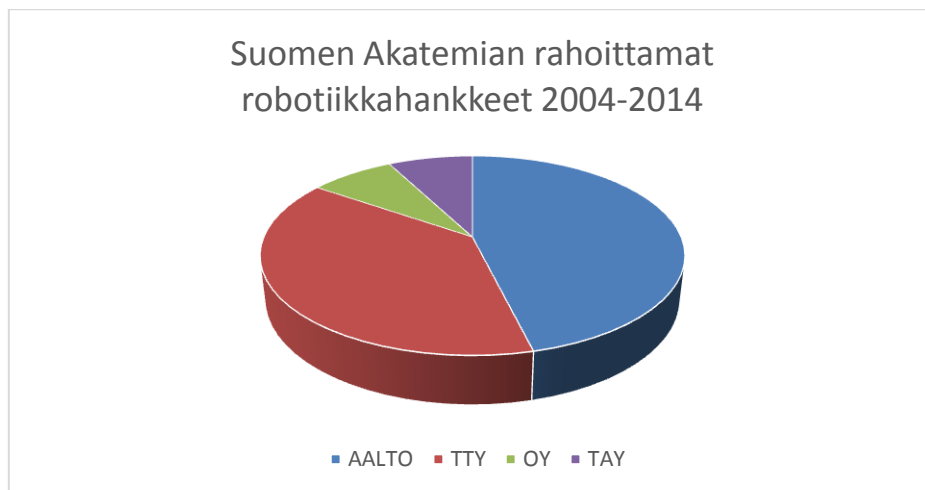
## **4. Suomalainen tutkimus ja koulutus**

### **4.1 Tutkimus**

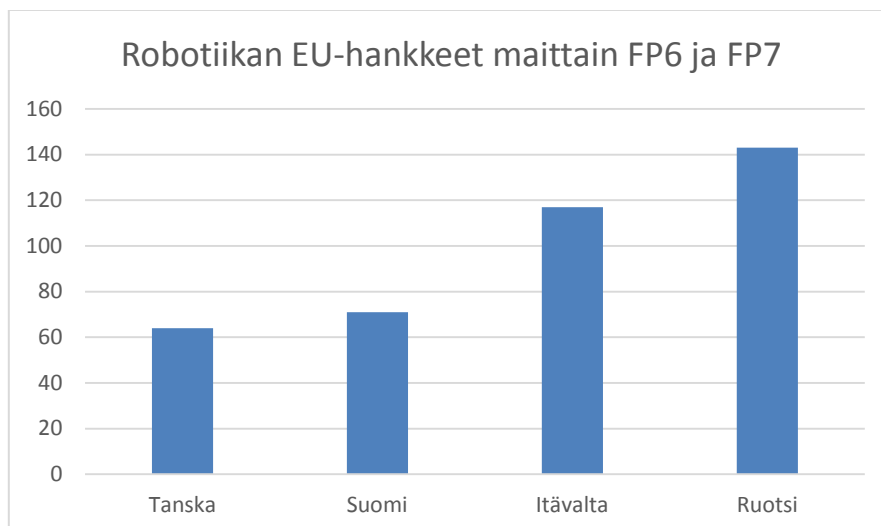
Tärkeimmät julkiset Suomalaiset tutkimustahot robotiikan alalla perustuen EU:n ja Suomen Akatemian tutkimushankkeiden lukumääriin ovat Aalto-yliopisto, VTT, Tampereen teknillinen yliopisto sekä Oulun yliopisto. Suomalaisen osallistuminen EU-hankkeisiin robotiikan alalla on esimerkiksi Ruotsiin verrattuna on noin puolet siitä lukumäärästä hankkeita, joihin ruotsalaiset osallistuvat. Pääsy mukaan kansainvälisiin hankkeisiin on kuitenkin osoitus kotimaisen tutkimuksen hyvästä tasosta kansainvälisesti.



*Kuva 14. Suomalaisen partnerien hankkeiden lukumäärä EU:n tutkimusohjelmien robotiikkaan liittyvissä hankkeissa EU:n tutkimuksen 6. ja 7. puiteohjelmissa (Lähde: EU:n tutkimustietokanta).*



*Kuva15. Suomen Akatemian rahoittamien robotiikkahankkeiden lukumäärä toimijoittain (Lähde: Suomen Akatemian tutkimustietokanta).*



Kuva 16. Robottiikan EU-hankkeet maittäin FP6 ja FP7 (Lähde: EU:n tutkimustietokanta).

EU:n tutkimusohjelmat tarjoavat mahdollisuuksia myös PK-sektorin yrityksille. Tästä toimii esimerkkinä Visual Components Oy, joka oli kolmanneksi suurin toimija EU-hankkeissa Aalto-yliopiston ja VTT:n jälkeen. **Suomalaisyritysten osallistuminen on kuitenkin vähäistä.** Tämä korostui erityisesti EU:n 8. puiteohjelman Horizon-ohjelman ensimmäisellä kierroksella vuonna 2014, jolloin vain kahteen robotiikkaprojektiin saatiin suomalaisia osapuolia kasvaneista rahoitusmahdollisuuksista huolimatta.

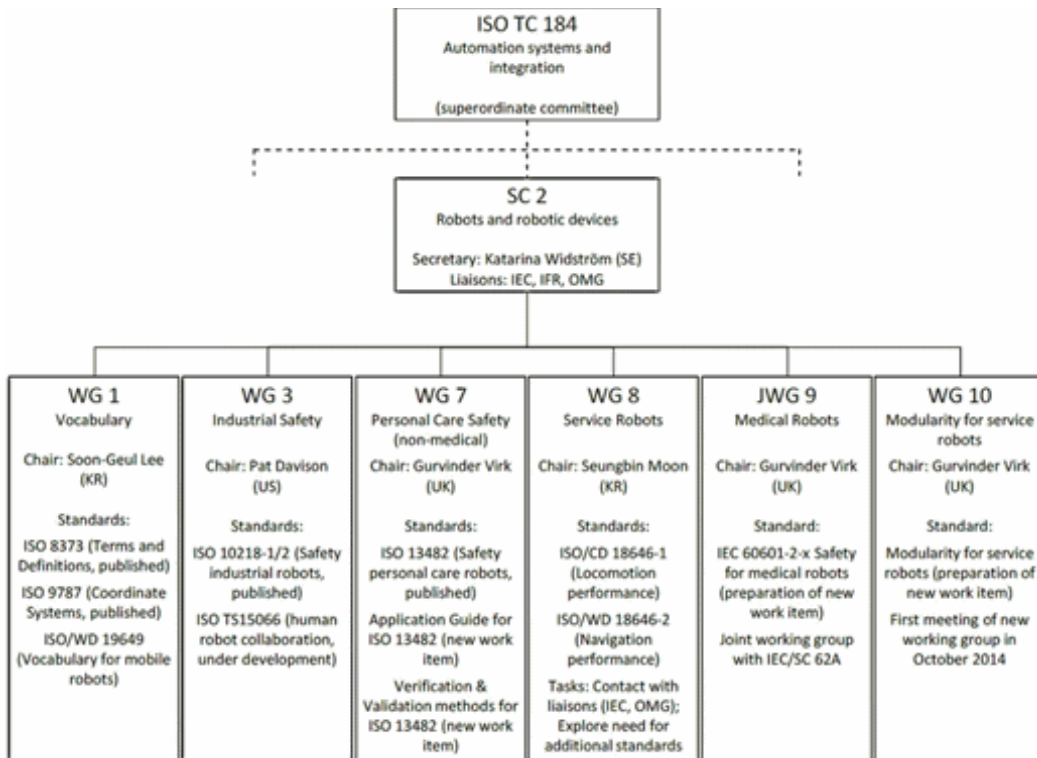
Robottiikan uudet sovelluskohteet tarjoavat mahdollisuuksia myös hyödyntäjien osallistumiselle tutkimukseen. Tämän tyyppinen T&K-toiminta perustuu usein nk. esikaupallisten hankintojen (pre-commercial procurement, PCP) tukemiseen, jossa loppukäyttäjän hankintaa tuetaan julkisista varoista, jotta esikaupallisessa vaiheessa olevia innovaatioita saadaan kaupallistettua. Suomalaisista kaupungeista Oulu ja Vantaa ovat osallistuneet EU:n tukemana tällaiseen SILVER-hankkeeseen.

Robottiikka-alan yritysten omaehtoinen Tekes-rahoitteinen kehitystoiminta on perinteisesti varsin vaatimatonta. Vuoden 2013 lukujen perusteella Tekes-rahoitusta oli tilitetty yhteensä 0,6 MEUR. Tästä voidaan arvioida kehitystoiminnan olleen vain n. 2 MEUR yhteensä alan 190 MEUR liikevaihdon lisäksi.

## 4.2 Standardointi

Perinteisesti kv. standardointitoimintaan osallistuminen on ollut varsin vaatimatonta sekä tutkimuslaitoksissa että yrityksissä. Osaltaan siihen on vaikuttanut Tekesin rahoituspäätöksissä osoittama nuiva suhtautuminen standardointityöhön osallistumisen rahoitukseen. Robottiikka-ala kehittyy nyt huimaa vauhtia ja siksi kansainvälistä ISO TC 184 -standardointitoimintaa automaation alalla<sup>13</sup> pitäisi Suomessa edes yhden henkilön seurata aktiivisesti.

<sup>13</sup> [http://www.iso.org/iso/iso\\_technical\\_committee%3Fcommid%3D54110](http://www.iso.org/iso/iso_technical_committee%3Fcommid%3D54110), 7.12.2015



Kuva 17. ISO TC184/SC 2 eli robotiikan standardiperhe.

### 4.3 Koulutus

Robotiikan ydinteknologioiden osaamista koulutetaan pääosin yliopistoissa ja ammattikorkeakouluissa automaatiotekniikan ja konetekniikan koulutusohjelmissa. Jossain määrin myös tietotekniikan ohjelmissa annetaan alaa tukevaa koulutusta.

Valtaosa koulutuksesta keskittyy teollisuusrobottien käyttöön teollisessa valmistuksessa. Laajemmin robotiikkaa opetetaan Aalto-yliopistossa ja Tampereen teknillisessä yliopistossa, joissa kurssitarjonta sisältää esimerkiksi autonomisesti liikkuvien koneiden teknologioita kuten autonomista navigointia. Ydinteknologiaihin liittyvien professuurien määrä on vähäinen. Suomessa koulutetaan korkeatasoisesti myös muita robotteihin ja näiden osateknologioihin liittyviä aiheita, erityisesti tietokonenäköä sekä tekoälyä ja koneoppimista ja laajemmin mekatroniikkaa sekä sulautettuja järjestelmiä mutta näiden osalta on syytä huomata, että näiden osaaminen ei riitä kilpailukykyisten robottijärjestelmien kehittämiseen ilman robotiikan ydinteknologioiden syvällistä ymmärrystä. Tukevien alueiden korkea taso on kuitenkin mahdollistava tekijä teolliselle kilpailukyvyllle robotiikassa.

Robotiikkakoulutuksen yhtenä merkittävänä haasteena ovat tarvittavat laiteinvestoinnit. Robottien kehitys laitteina on tällä hetkellä nopeaa ja korkeatasoisen osaamisen saavuttaminen vaatii kansallisia investointeja moderneihin laitteisiin. Osallistuminen kv. kehitysprojekteihin sisältää usein ainoastaan työkuulumuksia ja merkittävät laitehankinnat oletetaan aina tapahtuvan kehitysprojektien ulkopuolelta.

## 5. Johtopäätökset ja suositukset

### 5.1 Yleisiä suosituksia

**T&K-ympäristön kehittäminen:** Julkisen sektorin tulee investoida alan T&K toimintaan ja koordinoiviin toimiin, jotta suomalaisille toimijoille taataan mahdollisuus toimia merkittäväällä kasvualueella. T&K-toimintaa tulee tukea perustamalla alalle julkisrahoitteinen tutkimusohjelma-kokonaisuus esimerkiksi TEKESin, SHOKien sekä Suomen Akatemian yhteistyönä.

**Yritysten tietotaidon kasvattaminen:** Yritysten tietotaitoa tulee kasvattaa ed. kohdan ohella tukemalla yritysten osallistumista kansainvälisiin (tyypillisesti EU) tutkimushankkeisiin. Tukeminen on mahdollista mm. käyttämällä hyväksi VTT:n ja yliopistojen osaamista.

**Korkealaatuisen työvoiman saannin takaaminen:** Alan koulutustahoille tulee turvata riittävät resurssit erityisesti opetuslaitteistojen pitämiseksi alan teknisen kehityksen mukana.

**Yksityiskohtaisen teknologia-, teollisuus- ja palvelutiekartan laatiminen:** Suomeen tulee luoda yksityiskohtainen robotiikan tiekartta mahdollisuuksien kartoittamiseksi ja tukemaan julkisten resurssien tehokasta käyttöä.

**Robottien käyttöönoton tukeminen:** Yhteiskunnallisten instituutioiden tulee tukea robottien käyttöönottoa esimerkiksi julkisen keskustelun sekä tiedottamisen kautta. Käyttöönottoa tulee tukea myös purkamalla lainsäädännöllisiä esteitä sekä tukemalla alan turvallisuusstandardointiin osallistumista.

**Palvelurobotiikkaekosysteemin kehittäminen:** Julkisen sektorin tulee ryhtyä asiakkaaksi suuren potentiaalin palvelurobotiikkainnovaatioiden kehittämiseksi esimerkiksi terveydenhuoltoon, jotta suomalaiset toimijat pääsevät mukaan syntymässä olevalle markkinalle. Esikaupallisessa vaiheessa olevien tuotteiden hankintaan on mahdollista saada myös EU:n Pre-Commercial Procurement -rahoitusta.

**Robotiikan PK-yritysten toimintamahdollisuuksien kehittäminen:** PK-yritysten yleensä sekä erityisesti start-up ja spin-off -yritysten toimintamahdollisuuksia tulee tukea. Tukeminen on mahdollista mm. helpottamalla rahoituksen saamista laitteistoinvestointeihin alkuvaiheessa sekä tukemalla osallistumista yhteisten laitteiden käyttöön (esimerkiksi yhteiseurooppalaisten Robotics Innovation Facilityjen kautta).

### 5.2 Johtopäätökset suomalaisen teollisuusrobotiikan kehittämiseksi

Suomi on pudonnut v. 2009 lähtien kv. kehitystrendistä teollisuusrobotiikan kasvun edetessä muualla maailmassa. Järjestelmätoimittajat ovat korvanneet kotimaisen kysynnän vähentymisen osittain vientitoiminnalla naapurimaihin. Henkilöstöä on sopeutettu luontaisen poistuman kautta. Kasvavilla yrityksillä on ajoittain ongelmia rekrytoida osaavaa henkilökuntaa, koska alalle ei luontaisesti ohjaudu riittävästi nuoria. Pitkittyneen talouslaman seurauksena myös kauppatavat ovat alalla muuttuneet. Erityisesti EU-alueen teollisissa investoinneissa komission tutkimusohjelmien rooli näkyy liiketoimintaverkostojen kehittäjinä. Aktiiviset yritykset ovat hakeutuneet kv. yhteistyöhön jo tutkimusvaiheessa ja hyödyntävät kontaktiverkostoa liiketoimintaan. Tästä hyvänä esimerkkinä Suomessa on Visual Components Oy.

Teollista valmistusta on Suomestakin poistunut pysyvästi v. 2008 lähtien, jota on vaikea korvata neitseellisillä uusilla investoinneilla. Niinpä alan yritysten pitäisi suunnata kehitystyönsä palveluliiketoiminnan kehityksen suuntaan, jossa kasvua on ennustettu lähivuosille huomattavasti lukuisissa eri sovelluksissa. **Alan kasvua pitää ruokkia**

**käynnistämällä strategisen huippuosaamisen keskittymäyhtiöiden sisälle tutkimusohjelma, johon sitoutetaan mukaan alan tärkeimmät toimijat.** Koska teollista toimintaa ei Suomessa palvelurobotiikassa juurikaan ole, ei ristiriitaa liiketoimintaintresseissä ole yhteishankkeiden osalta kehitystoiminnassa näkyvissä. Riittävän yritysaktiivisuuden varmistamiseksi teollisuusrobotiikalla pitää olla ohjelmassa merkittävä rooli. PR-toiminta ohjelmasta ulospäin on tärkeä osa ohjelmaa. Teollisuusrobotiikan volyymi ja teknologinen kyvykkyys on tällä hetkellä huomattavaa, ja siten FIMECC Oy on SHOK:eista avainasemassa. Palvelualat kuitenkin jakaantuvat eri sovellusalueille (terveydenhoito, elintarviketeollisuus, lääketeollisuus jne.), ja mukaan tarvitaan näiden alojen avainyrityksiä.

EU:n Horizon tutkimusohjelman resurssit ovat suomalaisten yritysten osalta huonossa käytössä. Toimintaa projekteissa pitää aktivoida, jotta voidaan luoda kv. liiketoimintaverkostoja ja hakea kehitystoiminnan rahoitusta kotimaisten lähteiden ulkopuolelta. **Tässä toiminnassa VTT:n ja teknisten yliopistojen tutkimusaktiviteetin valmistelutyön osaaminen erityisesti EU-hankkeiden osalta pitää saada yrityksille käyttöön.** Robotiikka-alan osaajien kontaktiverkosto on markkinoitava yrityksiin. Niin EU:n kuin kotimaistenkin rahoittajien osallistumisen ehdot ovat monimutkaiset, eikä vähiten projekteihin liittyvien IPR-ehtojen osalta. Mikä tuntuu vieraalta, sitä vältetään. Monia high tech -yrityksiä arveluttaa konsortiohankkeiden tulosaaineistojen (foreground information) jakamisvelvoite konsortion osapuolten kesken. Vaikka käytäntö hankkeissa on varsin maltillista, pienyritykset eivät koe, että heidän kehittämäänsä IPR:ää voitaisiin täysimääräisesti hyödyntää hankkeen jälkeisessä liiketoiminnassa, tai yritykset eivät luota IPR:n säilymiseen rajatussa piirissä. Rahoittajien haluama esikilpailullisuus lyö korvalle liiketoiminnan kehittämistä.

Pienyrityksissä on kehityssarkaa. Pikainen tuotannollisen investoinnin toteutus on ongelma. **Robotin leasing ensirobotin hankintaan pitää kehittää mikroyrityksille.** Tätä ajatusta tukee tekninen kehitys, joka on tuonut liikkuvat robotit myös tehdaskäyttöön. Ohjelmointi uuteen tehtävään tehdään opettamalla, ei perinteisesti ohjelmoimalla.

Kansalaiset tulevat lähitulevaisuudessa törmäämään robotisoituihin palveluihin yhä moninaisemmissa palvelutehtävissä. Muutos henkilöiden tarjoamista palveluista on suuri. Tämän vuoksi asennekasvatusta tulee tehostaa PR-toiminnan kehittämisen kautta. **Tässä robottiviikon medianäkyvyydellä on iso rooli.** Samoin suurilla julkisilla investoinneilla voi olla kansalaisia ohjaava positiivinen vaikutus, mikäli ne saadaan ohjattua aktivoimaan robotiikkaa näyttävästi esille.

Suomalaisissa teollisuusoloissa loppukäyttäjillä on ollut sovelluskehityksessä poikkeuksellisen suuri rooli. Esimerkkinä vaikkapa Valmet Automotiven autotehdas ja Agcon moottoritehdas. Heidän **osaamistaan voisi käyttää vertaistukena** pienille yrityksille, jotta rohkenisivat ottaa uutta tekniikka käyttöön.

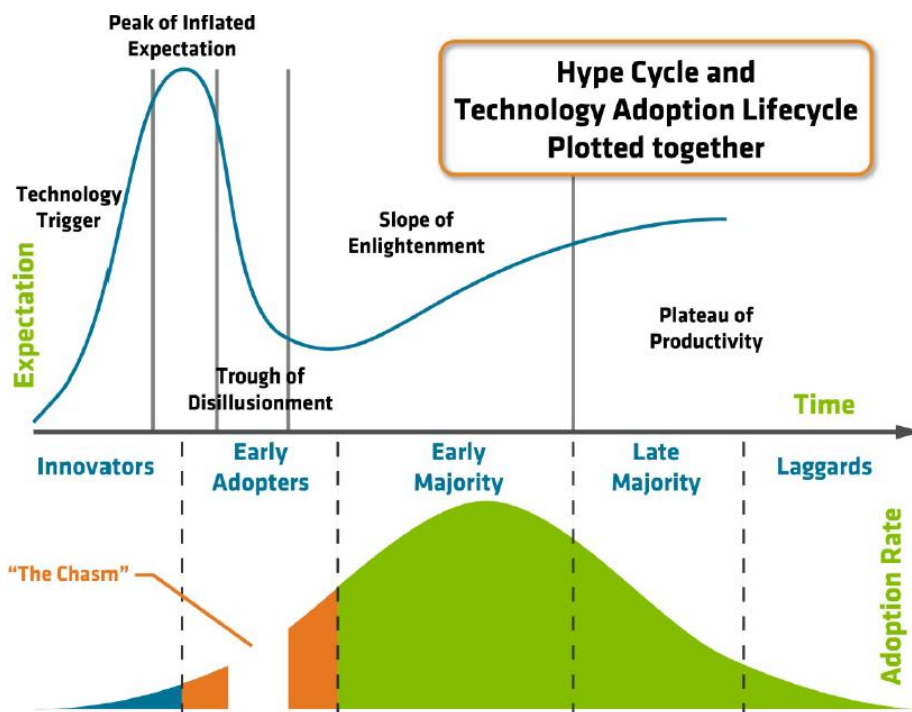
### 5.3 Toimenpidesuositukset palvelurobotiikan kehittämiseksi

B2C-alueen laitekehitys näyttää edullisten laitteiden osalta siirtyneen pysyvästi Kauko-Itään. B2B-alueen laitteita kehitetään voimakkaasti myös Suomessa. Liiketoiminta on varsin vaatimaton työkoneautomaatiota lukuun ottamatta. Palvelurobotiikan innovaatioiden rahoituksen tueksi **joukkorahoituksen edellytyksiä pitää parantaa**, jotta nopeasti saadaan ensimmäisiä prototyyppkejä toteutukseen. Markkinat eivät ole vielä millään alalla vakiintuneet ja markkinapotentiaali on suuri erityisesti ikääntyvän väestön vuoksi.

ISO TC 184 robotiikan standardointitoimintaan pitää saada toimintaan osallistumaan ja kansallisesti raporttoimaan suomalainen henkilöresurssi. Esim. palvelurobottien standardit kehittyvät nyt voimakkaasti. Standardointiin osallistumista ei oikeastaan tueta Suomessa millään tavalla. Suomalaisiin T&K-projekteihin ei voi sisällyttää standardointityötä, EU-

hankkeisiin sen sijaan voi. Tästä on seurannut, että T&K-henkilöstö niin yrityksissä (Nokiaa lukuun ottamatta) kuin tutkimuslaitoksissa on jättäytynyt pois standardoinnista. Standardointi on usein monivuotista työtä, vaatii huomattavaa asiantuntemusta ja hyvää tuntumaa suomalaisten yritysten intresseihin. Osallistuminen ei vaadi liian suuria satsauksia, mutta se vaatii sitkeää osallistumista kansainvälisiin kokouksiin, vaikuttamista sisältöihin, peilaamalla luonnoksia suomalaiseen intressiin, ja edesauttamassa suomalaista teollisuutta valmistautumaan merkittäviksi osoittautuviin standardeihin.

**Huomioi ajoittaisen julkistusryöpyn aiheuttama muutikäyrä ("hype-sykli").** Robotiikka tekniikkana kehittyi juuri nyt suurin harppauksin erityisesti ihmisen ja koneen vuorovaikutuksen lisääntymisen ansiosta. Odotukset ovat erityisen suuria palvelurobotiikassa, joka ei kuitenkaan ole vielä pystynyt lunastamaan suurimpia odotuksia. Pitkäjänteinen, perustaa liiketoiminnalle luova kehitys takaa parhaan tuloksen myös tällä teollisuudenalalla. Varsin monet uudet robottisovellukset vaativat organisaatioiden liiketoimintaprosessien ja yksilöiden, erityisesti tavallisten kansalaisten, suhtautumistapojen muutoksia, jotka ovat osoittautuneet varsin hitaiksi toteuttaa.



Kuva 18. Teknologiakehityksen muutikäyrä ja teknologian elinkaarikäyrä päällekkäin (Lähde: Banerjee, 2012).

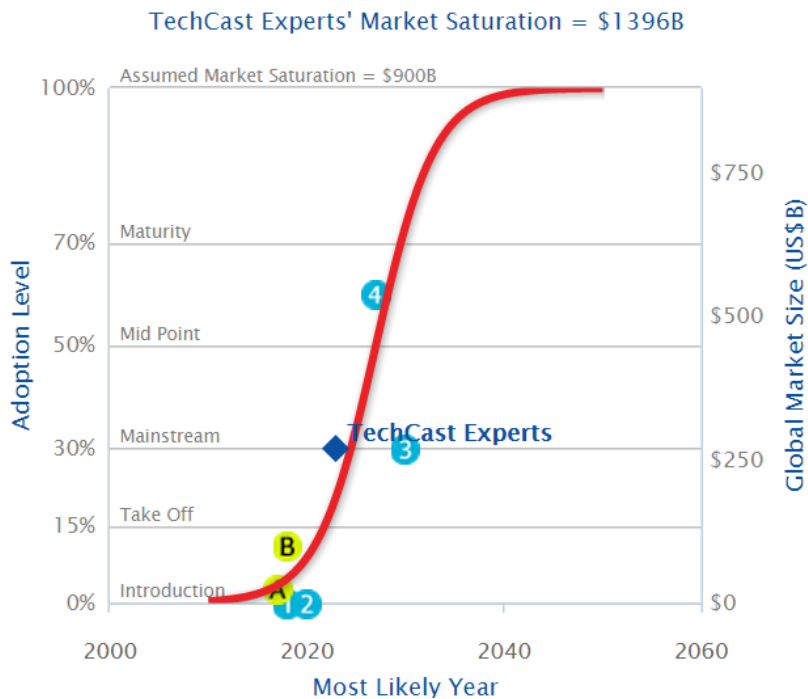
TechCast Global<sup>14</sup> tekee noin 200 asiantuntijan avulla ennusteita siitä, miten jokin tuote tai menetelmä saavuttaa teollisen mittakaavan ja korvaa aikaisemmat tuotteet. Heidän S-käyränsä ennustaa aiheen vuotuista markkinakokoa. Esimerkkinä on älykkäiden autojen S-käyrä (Kuva 19). Ympäristön ja toisten autojen kanssa keskustelevat, ihmisen ajamista valvovat ja itsenäiset autot on määritelty älykkäiksi. Kuvan ympyrät ovat muiden ennustuksia, esimerkiksi nro 4 on tehnyt ABI Research vuonna 2013.

**Infrastrukturi ja ekosysteemi valmiiksi robotisaatiolle.** Oikeastaan harvat visioidut robottisovellukset ovat autonomisen pölynimurin kaltaisia stand alone -sovelluksia. Niissä riittää kun hankkii riittävän kyvykkään yhden laitteen, joka on valmis sellaisenaan

<sup>14</sup> <https://www.techcastglobal.com>, 30.1.2015



hyötykäyttöön, tai ei tarvitse mitään muuta. Sen sijaan tuotantorobotit vaativat robotteihin nähden huomattavan paljon suurempia satsauksia siihen, että tuotantolinja toimii joustavasti, tarkasti ja tehokkaasti, tuotteet on suunniteltu valmistettavaksi robottivaltaisessa linjassa jne. Vastaavasta robotisoitu liikenne toki vaatii paljon itse auton tekniikalta, mutta vielä paljon enemmän sekä tekniseltä että kulkuväyläinfraalta. Niinpä kun asetamme odotuksia terveydenhuollolle, vartioinnille, teiden huollolle tms., moni muu asia tulee kehittää nykyistä huomattavasti paremmalle tolalle, jotta robotit voivat tehdä niissä oman osuutensa.



Kuva 19. TechCast Globalin ennuste älykkäistä autoista (Lähde: TechCast<sup>15</sup>).

#### 5.4 Toimenpidesuositukset kenttärobotiikan kehittämiseksi

Älykkäät liikkuvat työkoneet muodostavat Suomessa perustan kenttärobotiikan osaamiselle ja alalla toimii useista suomalaisia yrityksiä globaaleilla markkinoilla. Raskaiden työkoneiden robotiikan alueella on odotettavissa lähitulevaisuudessa merkittäviä läpimurtoja koska automaatio nähdään siellä ainoaksi olemassa olevaksi keinoksi saavuttaa olennaisia parannuksia tuottavuudessa ja turvallisuudessa. Tämän ennakoimiseksi on varmistettava että kotimaiset yritykset säilyttävät näissä muutoksissa johtoasemansa.

Kenttärobotiikan ekosysteemi on luonut Suomeen vahvaa osaamista sen teknologioihin ja palveluihin erikoistuneissa pk-yrityksissä (vrt. aik. mainitut teknologiat). Nämä yritykset ovat hyvin kasvukykyisiä, mutta laajentuminen kansainvälisille markkinoille on tapahtunut hitaasti. Kohdistamalla julkista tukea tämän kohderyhmän yritysten kansainvälistymiseen voidaan saada aikaan nopeaa liiketoiminnan kasvua ja toisaalta varmistetaan myös heidän toimeksiantajien valmistuksen säilyminen Suomessa.

Kenttärobotiikan alan standardit ovat vielä vasta muotoutumassa. Sen vuoksi tarvitaan juuri nyt yhteistyötä ja resursseja sekä yrityksistä että tutkimuslaitoksista vaikuttamaan niiden

<sup>15</sup> <http://www.techcastglobal.com/>, 30.1.2015

syntymiseen sekä varmistaa konkreettiset edellytykset osallistua niiden laatimisessa vaadittavaan pitkäjänteiseen työhön.

Osaamisen ja jatkuvuuden kannalta yritysten oman tuotekehityksen rinnalle kaivataan tutkimuksen kansainvälisesti kilpailukykyisiä huippuyksiköitä ja tutkimusryhmiä alan avainteknologioiden pariin. Hyvänä esimerkkinä tästä oli Aalto yliopiston ja Tampereen teknillisen yliopiston muodostama GIM, joka kuitenkin päättyi v. 2013. Vastaavanlaisille ryhmille on edelleen tarve olemassa.

Seuraavissa kappaleissa on esimerkkinä aiheita, joista voisi työryhmän arvion mukaan muodostua tutkimusohjelmia tai vastaavia. Teknologiat ovat joko valmiina tai murrosvaiheessa massiiviseen käyttöön ja osajärjestelmät integroitavissa kohtuullisella työllä yhteen.

#### 5.4.1 Sairaalan sisälogistiikka

Sairaaloissa on paljon lääkkeiden, tarvikkeiden, aterioiden ja pakkaustarvikkeiden kuljetustehtäviä erilaisten varastojen ja potilashuoneiden välillä. Tehtävät toistuvat samanlaisina globaalisti ja niiden toteuttamista roboteilla on kokeiltu paljon – myös ihmisten ja potilaiden joukossa. Suurimpana kynnyksenä nyt lienee kuljetusjärjestelmän integroituminen ruuan valmistamiseen ja pakkaamiseen, tarvikkevarastoihin, apteekkiautomaatioon ja telelääketieteen käyttöön<sup>16</sup>.

Koska terveydenhoito on Suomessa kallista ja kustannuspaineet kovat sekä aiheen markkinat laajat, aiheen tutkimusohjelma voi olla sangen kiinnostava teollisuuden kannalta. Aiheeseen voinee muodostaa fokusoidun moniteknologisen tutkimusohjelman.

#### 5.4.2 Arktisen itsenäisen ajon testialue

Itsenäisiä henkilöautoja kehitetään maailmalla isoilla resursseilla ja monessa paikassa. Aiheen lainsäädäntö on se varsinainen hidaste, liikennestandarditkin ratkennevat. Kun lainsäädäntö ratkeaa, alan kasvu voi olla nopeaa. – Suomalaista teollisuutta kannattanee aktivoida aiheessa seuraavasti.

Voi olla suomalaisen teollisuuden kannalta hyödyllistä avata esimerkiksi Kuusamon eteläpuolelle ”Arktisen itsenäisen ajon testialue”, jossa 2 milj. € takuusummalla ajoneuvoa kohden ja vakiotestit läpäissän kansainvälinen alan teollisuus voisi kokeilla itsenäistä ajoa vaikeissa talviolosuhteissa. – Teknisesti se onnistuu jo turvallisemmin kuin ihmisen ajaessa – myös lumisissa olosuhteissa.

EB (Elektrobit Oyj) myy autoelektroniikka<sup>17</sup>. Yhtiö luomia liitäntäpintoja voisi käyttää alustana liittää autoihin muitakin suomalaisia osajärjestelmiä. Tämä tulee tehdä siten että EB:n liiketoiminta-asema vahvistuu myös suomalaisten kumppaneiden avulla.

<sup>16</sup> <http://www.kurzweilai.net/fda-clears-first-autonomous-telemedicine-robot-for-hospitals>, 30.1.2015

<sup>17</sup> <http://www.elektrobit.com/index.php?id=4431&locate=201501/1884362>, 30.1.2015

## **Lähdeviitteet**

Banerjee, Udayan. 2012. Technology Adoption – 2 beliefs you need to undo. Verkkosivu: <https://setandbma.wordpress.com/2012/05/28/technology-adoption-shift/>. Viitattu 21.1.2016.

Hägele, Martin (toim.). 2014. World Robotics Service Robots 2014. Frankfurt: VDMA

Lumiaho Aki, Kutila Matti. 2015. Robotisaatioselvitykset – Liikenteen robotiikka. Espoo: VTT. 16.1.2015. S. 12 (VTT-CR-90145-15)

Robotics Research Agenda, EuRobotics AISBL, 2014

# Liikenteen robotiikka

Aki Lumiaho ja Matti Kutila

## 1. Liikenteen robotiikka ja markkinat

### 1.1 Autonomisen ajoneuvon määritelmä

Autonomisia ajoneuvoja luokitellaan kirjallisuudessa yleensä kolmeen tasoon:

- **puoliautonominen** (*semi-autonomous*), jolloin ajoneuvossa olevat kuljettajaa avustavat järjestelmät voivat toimia itsenäisesti tai integroituna kokonaisuutena (esim. kaistalla pysymisen tuki), mutta kuljettaja ohjaa ajoneuvoa kädet ohjauspyörässä tai vastaavassa.
- **pitkälle autonominen** (*highly autonomous*), jolloin ajoneuvossa on kuljettajaa avustavia järjestelmiä, jotka toimivat integroituna kokonaisuutena, ja jotka määrättyissä oloissa (riippuen esimerkiksi säästä, kelistä, olosuhteista, infrastruktuurista) voivat hoitaa joitakin ajamiseen liittyviä tehtäviä ilman kuljettajan jatkuvaa aktiivista ajamista (esim. hätäjarrujärjestelmä).
- **täysautonominen** (*fully autonomous*), jolloin kaikki ajoneuvon kuljettajaa avustavat järjestelmät ovat täysin integroituja ja toimivat yhtenä kokonaisuutena vastaten kaikista ajamiseen liittyvistä tehtävistä. Kuljettajan ei tarvitse pitää käsiä ohjauspyörässä, mutta hätä- ja virhetapauksissa kuljettajan on pystyttävä ottamaan ajoneuvo turvallisesti haltuunsa ja kyettävä ajamaan ajoneuvoa hallitusti.

Autonomisuus tarkoittaa tässä yhteydessä siis ajoneuvon kykyä toimia itsenäisesti ennalta määrittelemättömässä liikennenympäristössä ajoneuvon omien järjestelmien ja mahdollisesti myös tietoliikennetyhteyksien ja taustajärjestelmien tukemana. Lisäksi on kauko-ohjattuja autonomisia ajoneuvoja. Tällöin kuljettaja on yhteydessä ajoneuvon langattoman etäyhteyden kautta ohjaten ajoneuvoa ajantasaisen ajosimulaattorin tai vastaavan käyttöliittymän avulla.

### 1.2 Kehityspolku kuljettajaa avustavista järjestelmistä autonomisiin ajoneuvoihin

Autonominen ajoneuvo tukeutuu voimakkaasti kuljettajaa avustaviin järjestelmiin (ADAS, *Advanced Driver Assistance Systems*), ADAS-järjestelmien integrointiin, ajoneuvojen ja ajoneuvojen ja infrastruktuurin väliseen kommunikointiin, yhteistoiminnallisiin älykkään liikenteen järjestelmiin (*C-ITS, Connected Intelligent Transport Systems*), järjestelmien sensorien datafuusioon ja kerätyn datan analysointiin. Ensimmäisiä askeleita tieto-omaisuuden kartuttamisessa on viimeaikaisten ja lähivuosien tutkimushankkeiden tulosten seuranta, koostaminen ja analysointi.

Kyse on ajoneuvon järjestelmien autonomiasta versus kuljettajan tarve ottaa ajoneuvon hallinta turvallisesti itselleen. ADAS-järjestelmiä on jo saatavissa tehdasasennettuina lisävarusteina kaikilla merkittävillä autovalmistajilla. Ensimmäisiä tällaisia järjestelmiä ovat esim. mukautuva vakionopeussäädin, törmäyksen esto alhaisilla nopeuksilla, kaistavahti,

kuolleen kulman varoitin, pysäköintiavustin ja nopeusrajoitus-liikennemerkin tunnistus. Frost & Sullivan (2014a) on arvioinut, että nämä järjestelmät saavuttavat Euroopassa korkean<sup>18</sup> ja Yhdysvalloissa keskitason markkinapenetraation vuoteen 2020 mennessä.

Autonominen ajoneuvo perustuu yhtäältä ajoneuvon ympäristöä havainnoiviin sensoreihin ja toisaalta kommunikaatiojärjestelmiin. KPMG-yhtiön (2013) mukaan uusiin autoihin on saatavissa tehdasasennettuna ”autonomisen ajamisen” -lisävarustepaketteja jo vuonna 2019. Vuoteen 2025 mennessä markkinoilla on riittävä määrä tehdasvarusteita ja lisävarusteita, jotka tukevat autonomista ajamista ja autonomisia ajoneuvoja.

### 1.3 Potentiaaliset hyödyt

Autonomisten ajoneuvojen hyödyt on kirjallisuudessa jaettu kolmeen lajiin:

- **turvallisuusvaikutukset:** onnettomuudet; kansantaloudelliset ja ajoneuvokohtaiset
- **liikenteen sujuvuus:** ilmaston lämpeneminen; ruuhkien ja päästöjen väheneminen
- **kuljettajien käyttäytymiseen liikenteessä:** uudet liikkumisratkaisut<sup>19</sup>, kimpapakyydit, muutokset auton omistamisessa, talouksien toisen auton poistuminen.

Amerikkalaisen tutkimuksen mukaan autonomisilla ajoneuvoilla voidaan saavuttaa huomattavia yhteiskunnallisia säästöjä. Tutkimuksessa (ENO 2013) todetaan, että 10% penetraatiolla autonomisilla ajoneuvoilla vältettäisiin vuodessa 1 100 liikennekuolemaa ja 211 000 kolaria, yhteiskunnallisia säästöjä noin 4,6 miljardia euroa<sup>20</sup> (5,5 miljardia dollaria).

### 1.4 Käyttäjien hyväksyntä

Teknologia toimii vain niin hyvin kuin käyttäjä osaa ja haluaa käyttää teknologiaa. Tähän liittyvät mm. käyttäjähyväksyntä, käyttäjien halukkuus maksaa, käyttöliittymä ja käyttäjän kyky ymmärtää ja vaikuttaa teknologian toimimiseen. Näitä on kehitetty ja tutkittu useiden ammattialojen asiantuntijoiden yhteistyönä kaikilla mantereilla. Tämän alan tutkimusta tehdään aktiivisesti myös Suomessa useiden tutkimuslaitosten ja yliopistojen toimesta.

Toisaalta minkälaista ”kokemus”taustaa, ”päätätely”osaamista ja ajoneuvon hallintaa voidaan vaatia autonomiselta ajoneuvolta ihmisten keskuudessa. Kuljettajan monitoroinnilla ja opastamisella pyritään pehmentämään tietä kohti autonomista ajamista. Kun tunnistetaan kuljettajan aikomukset kasvoista tai kehon ja/tai raajojen toimista, voidaan ennakoida hänen aikeitaan (esim. kaistanvaihto) tai valvoa hänen vireytensä. Tämä on tärkeää, kun kuljettajan osallistumista ajamiseen vähennetään.

### 1.5 Lainsäädäntö

Nykylainsäädäntö ei tunne autonomista ajoneuvoa. On huomattavaa, että kuljettaja on nykyisen lainsäädännön puitteissa aina vastuussa ajoneuvosta. Nykyistä voimassaolevaa Suomen tieliikennelakia 3.4.1981/267 on hyväksymisensä jälkeen tarkistettu 87 säädöksellä ja täydennetty 48 säädöksellä. Hallituksen esityksellä 174/2012 on tehty lakimuutos 12.4.2013/253 (TLL 1 a Luku<sup>21</sup>), jossa määritellään Euroopan Unionin ITS-direktiivin asettamat määritelmät ja ITS-järjestelmien käyttöönnotossa sovellettavat periaatteet.

<sup>18</sup> Skaala on kolmitasoinen: korkea – keskitaso – matala. Frost & Sullivan 2014a.

<sup>19</sup> *Mobility-as-a-Service, MaaS; Driving-as-a-Service, DaaS.*

<sup>20</sup> Vaihtokurssina on käytetty USD → EUR (2.1.2015 keskipäivä): 1 USD = 0,830 EUR

<sup>21</sup> Tieliikennelaki luvut 1 a, 5 a § ja 5 b § (12.4.2013/253): Tieliikenteen älykkäiden liikennejärjestelmien käyttöönotto tieliikenteessä sekä tieliikenteen ja muiden liikennemuotojen rajapinnoilla

Säädöksiin liittyvää työtä on runsaasti, ja siihen on käytettävissä vain rajallinen aika. Nyt jouduttaneen avaamaan esimerkiksi ajoneuvo- ja ajo-oikeus-käsitteet. Tähän liittyviä seikkoja ovat mm. *autonominen ajoneuvo* lain tarkoittamana tieliikenteeseen käytettävänä ajoneuvona, jolla voidaan kuljettaa ihmisiä ja tavaroita, ajoneuvon tyyppihyväksyntä ja katsastusvaatimukset/-ohjeet sekä tuotevastuu- ja vakuutussäädökset.

## 1.6 Markkinat

Edellä mainittu aikarajoitus liittyy ajoneuvovalmistajien tavoitteisiin tuoda autonomisia ajoneuvoja tieliikenteeseen kuluttajamarkkinoille lähivuosina. Monet autovalmistajat ovat ilmoittaneet julkisuudessa tuovansa autonomisia ajoneuvoja markkinoille vuoteen 2020 mennessä. Tässä ryhmässä ovat, mm. Audi, BMW, Ford, GM, Mercedes, Nissan, PSA ja Volvo. Markkinoilla on monia aikakriittisiä tarpeita, jotka liittyvät useisiin arvoketjun osallisiin.

## 2. Liikenteen robotisaation kehitystarpeet

Teknologiset saavutukset ovat muovanneet liikenne- ja kuljetusteollisuutta. Teknologioiden kehittäminen on johtanut jatkuvasti vähäpäästöisempien, voimakkaampien, nopeampien, kestävämpien, taloudellisempien ja turvallisempien ajoneuvojen tuloon markkinoille.

Julkisen sektorin t&k&i-ohjelmat sekä tutkimusmaailman ja yritysten hankkeet ovat vahvistaneet autonomisten ja miehittämättömien ajoneuvojen kehittämistä. Autonomiset ajoneuvot tulevat kaikkiin liikennemuotoihin niin maalla, merellä kuin ilmassa.

### 2.1 Ympäristön havainnointi ja anturiteknologiat

Anturiteknologiat ovat kaikki kaikessa autonomisten ajoneuvojen kehityksessä. Anturit eivät vielä pysty ”näkemään” ja ymmärtämään ajoneuvon ympäristöä niin tarkasti kuin ihmissilmä ja -aivot. Ihminen käyttää aikaisempaa kokemustaustaansa ja kaikkien aistien ympäristö-havainnointia päätelläkseen mahdollisia tapahtumaskenaarioita. Autonomisessa ajoneuvossa on pystyttävä luomaan elektronin horisontti (*electronic horizon*). Antureilla luodaan tieto ajoneuvon ympäristöstä. Tätä tietoa järjestelmät pystyvät luomaan ajantasaisen tilannekuvan ajoneuvon ajallisesti, paikallisesti ja tilallisesti vaikuttavasta ympäristöstä.

Kehitystarpeet:

- anturien miniatyyrisointi, laskentatehon maksimointi ja energian minimointi
- älykkäiden antureiden kehittäminen vaikeisiin olosuhteisiin (sumu, lumisade, jne)
- sensorifuusio ja Big Data:n hyödyntäminen

### 2.2 Ajokäyttäytyminen, käyttäjähyväksyminen ja käyttöliittymät

Kuljettajalla tulee olla mahdollisuus ottaa autonomisen ajoneuvon hallinta turvallisesti itselleen kaikissa tilanteissa. Autonomisiin ajoneuvoihin yhdistetään erilaisia mielipiteitä kuin tavallisiin autoihin. Hankintaan vaikuttavat viisi tärkeintä tekijää ovat: ajoneuvon käsiteltävyys, turvallisuus, innovaatiot, luotettavuus ja laatu. Perinteisesti vahvoilla olleet tekijät kuten moottori, vaihteisto ja muotoilu ovat vähemmän arvostettuja (KPMG 2013).

Kuljettajan ja ajoneuvon vuoropuhelu käydään järjestelmien käyttöliittymien kautta. Intuiitiivinen käyttöliittymä on luonnollinen tapa antaa ajoneuvolle ohjeita sen ajosuoritusta tai ajosuorituksen muuttamista varten.

**Kehitystarpeet:**

- miten ajoneuvolta ja liikenneympäristöltä vaaditaan, jotta autonominen auto ajaa sujuvasti, tasaisesti ja turvallisesti
- ymmärtää erilaisten kuljettajien tarpeet ja kyvyt hallita autonomista ajoneuvoa kaikissa tilanteissa, ympäristössä ja nopeuksissa
- ymmärtää erilaisten kuljettajien tarpeita vuorovaikutteisten käyttöliittymien suunnittelussa, kuljettajan monitorointi-tekniologioiden kehittäminen
- ymmärtää varoitus-, neuvo- ja ajoon puuttumisen strategioita

**2.3 Liikenneturvallisuus ja kuljettajaa avustavat järjestelmät**

Liikenneturvallisuus on yksi tärkeimmistä tekijöistä autonomisten ajoneuvojen yleistymisen kannalta. Autonomisen ajoneuvon odotetaan havainnoivan ympäristöään paremmin ja luotettavammin kuin ihminen. Sen odotetaan myös reagoivan nopeammin kuin ihminen.

Autonomisen ajoneuvon liikenneturvallisuusominaisuuksia ei kuitenkaan tunneta riittävästi. Näihin ominaisuuksiin ei voida soveltaa tavallisten autojen kriteereitä. Järjestelmät antavat kuljettajalle varoituksia ja ohjeita. Ne jarruttavat ajoneuvon vauhtia. Ne saattavat jopa muuttaa ajoneuvon kulkusuuntaa. Törmäystilanteissa kuljettajaa avustavat järjestelmät pyrkivät välttämään törmäyksen tai ainakin lieventämään törmäyksen vaikutuksia.

**Kehitystarpeet:**

- arvioida autonomisen ajoneuvon yhteiskunnalliset arvot ja määreet
- määrittää autonomisen ajoneuvon liikenneturvallisuustekijät ja niiden taso
- tarkentaa liikenneturvallisuuden vaatimuksia kenttätestauksien kautta
- ymmärtää esimerkiksi muuttuvan liikkumisen, parantuvan turvallisuuden, käyttäjien hyväksynnän ja kustannusten asettamat rajoitukset, haasteet, arvot ja mahdollisuudet
- viranomaisten roolien ja vaatimusten täsmentäminen autonomisten ajoneuvojen turvallisuusvaatimusten määrittämisessä

**2.4 Liikennevirta, ruuhkautuminen ja liikenteen hallinta**

Ihminen on suurin epävarmuustekijä liikenteessä. Epätasaiset nopeudet, tarpeettomat ohitukset, epäloogiset kiihdytykset ja jarrutukset, henkilöiden poikkeus- ja itsetuhoinen käyttäytyminen, sairauskohtaukset, huumeet ja alkoholi muodostavat liikenteen muuttujajoukon. Autonomisen ajoneuvon on uskottu tuovan näihin ratkaisuun.

Tämän hetkisen käsityksen mukaan autonomisten ajoneuvojen perimmäinen ominaisuus on asettua ja käyttäytyä liikenteessä turvallisesti, vähentää liikkumisen päästöjä ja parantaa liikennejärjestelmän välityskykyä. Autonomisten ajoneuvojen katsotaan muodostavan homogeenisempi ja siten turvallisempi ja häiriöttömämpi liikennevirta kuin ihmisten ohjaamien ajoneuvojen. Liikenteen hallinnan tarve yhteiskunnassa kuitenkin säilyy.

**2.5 Ajoneuvojen ADAS-järjestelmien kustannuksista**

Autovalmistajat hinnoittelevat nykyisin tarjolla olevat ADAS-järjestelmäpakettinsa 2000 - 6000 euron tasolle riippuen pakettien kokoonpanosta ja integrointiasteesta. Merkittävien alihankkijoiden kanssa keskustellun perusteella anturien komponenttihinta (*bill-of-material, BOM*) tulee olla autotehtaalle max. 500 €, jotta ne pääsevät 2000 euron lisävarustehintaan.

Nykyisellään autonomisen ajoneuvon teknologia on kallis investointi. Kuten muukin tietotekniikka, myös autonomisten ajoneuvojen teknologioiden hinnat laskevat kehityksen

myötä. KPMG (2013) ja ENO (2013) ovat arvioineet, että nykyisten järjestelmien kustannuksien arvio olisi 83 000 euroa. Markkinoille tuloon mennessä kustannukset ovat laskeneet noin 31 000 euroon. Massatuotannossa arvio on enää 8 300 euroa.

### **Kehitystarpeet:**

- ymmärrettävä *"bill-of-materials"*-kustannustason kehittyminen
- kehitettävä halpoja massatuotantoon soveltuvia sulautettuja elektroniikka- ja ohjelmistoratkaisuja
- ymmärrettävä käyttäjien maksuhalukkuuden kehitys lisääntyvän tietoisuuden myötä

## **2.6 Logistiikka**

Logistiikassa autonomisten ajoneuvojen sovellusalueita löytyy satamissa, varastoissa ja työmailla. Näillä alueilla liikkuu autonomisia kuljetuslaitteita, siirtolaitteita ja työkoneita. Tavaraliikenteessä kuorman konttien purkamiseen ja lastaamiseen käytetään jo autonomisia lukkeja ja robottivaunuja. Kuormalavojen ja häkkien käsittelyssä voidaan myös käyttää kuljetusrobotteja.

Autonomisissa autoissa käytettävät järjestelmät sopivat käytettäväksi soveltuvin osin myös raskaassa kalustossa. Tavaraliikenteessä yksi kehityssuunta lienee niin sanottu kolonna-/saattue-ajo (*platooning*). Kolonnassa ajaa kaksi tai useampi autonominen tavara-ajoneuvo peräkkäin lähellä toisiaan. Ne saavat ajamiseen liittyvät tiedot edessä ajavalta ajoneuvolta. Tiedot edellä olevista olosuhteista ja tapahtumista välittyy myös autolta toiselle.

Logistiikkaketjun *"last mile"* -osuudella on kaavailtu käytettäväksi miehittämättömiä kevyitä kauko-ohjattavia ja/tai autonomisia kevyitä ilma-aluksia. Näitä käsitellään seuraavassa kappaleessa tarkemmin.

### **Kehitystarpeet:**

- edistää autonomisten ajoneuvojen käyttöä kaupunkilogistiikassa ja jakelutainoutopalveluissa
- miehittämättömien ja kauko-ohjattujen/autonomisten ilma-alusten käyttöönottoon ja käyttöön liittyvät esteet ja mahdollisuudet
- raskaan liikenteen kolonna-ajon asema ja merkitys

## **2.7 Lentoliikenteen robotisaatio**

Lentoliikenteen alalla tapahtuu voimakkain autonomisten ajoneuvojen kehitys sotakoneiteollisuudessa ja -tutkimuksessa. Tämä ala on vahvasti valtiollisten toimijoiden hallitsemaa. Kaupallisessa lentoliikenteessä suuret lentokonevalmistajat alihankkijoineen ja tutkimuslaitoskumppaneineen ovat paljon vartijoita.

Miehittämätön ilma-alus (*UAV, Unmanned Aerial Vehicle*) voi muistuttaa ulkonäöltään ja lento-ominaisuuksiltaan pienikokoista lentokonetta tai neli- tai useampi moottorista helikopteria (nelikopteri). Niissä ei ole ohjaajaa. Kauko-ohjatuissa laitteissa ohjaajat saattavat olla hallituissa ja turvallisissa oloissa valvontakeskuksessa tai kauko-operointitiloissa. Miehittämättömät Ilma-alukset on usein varustettu jotain tiettyä tehtävää, kuten esim. valvontaa, ilmapuolustusta, ympäristö- ja säätehtäviä, palo- ja pelastustehtäviä, viranomais- ja tukitehtäviä, mittauksia, laskentoja tai kuljetustehtäviä varten.



Ilmailussa ensimmäisen vaiheen robotiikkaratkaisut ovat kohdistuneet navigointijärjestelmien, ohjaajaa avustavien järjestelmien ja miehittämättömän ilma-aluksien kehittämiseen. Tällaisten lentolaitteiden käyttö, vaatimukset ja kaupalliset soveltamiset ovat vahvassa kehitysvaiheessa.

#### **Kehitystarpeet:**

- ymmärtää UAV-alusten mahdollisuudet ja rajoitteet eri aloilla ja tehtävissä
- ymmärtää UAV-alusten vaatimien antureiden ja liikenteenhallintajärjestelmien kehitys
- ymmärtää kaupallisten toimijoiden lähtökohdat ja tarpeet UAV kehittämisessä ja palveluiden kaupallistamisessa

### **2.8 Lentoliikenteen säädökset**

Miehittämättömien ilma-alusten käyttö vaatii muutoksia sekä kansallisiin että kansainvälisiin ilmailunormeihin. Kansainvälinen siviili-ilmailujärjestö ICAO laatii tämän päälinjat, *ICAO Roadmap on RPAS (Remotely Piloted Aircraft Systems)*. JARUS (*Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems*) on lähes 30 valtion ilmailuviranomaisten yhteenliittymä, joka harmonisoi UAV-ilmailuun liittyvää normistoa. Tuleva eurooppalainen RPAS-normisto tulee pitkälti perustumaan JARUS-organisaation normisuosituksiin. Euroopan unionin komissio on julkaissut oman UAV-tiekarttansa, *European RPAS Roadmap*. EU osallistuu ICAOn ja JARUSin työhön. Suomi on aktiivisesti mukana molemmissa. (Trafi 2015) Suomessa muutokset koskevat ilmailulakia ja -määräyksiä.

Suuret kauppaketjut ovat esitelleet suunnitelmia, joissa miehittämättömiä kauko-ohjattuja tai autonomisia ilma-aluksia käytettäisiin jakelun ”last mile”-osuudella. Tällaiset jakelujärjestelmät eivät vielä ole saaneet viranomaisten hyväksyntää. Säädösmuutoksia on valmisteilla. Ongelmaksi tosin on muodostumassa luvanvaraisen kaupallisen liikenteen ja vapaan oman tavaran kuljetuksen välinen rajanveto. Myös kaupallisen toiminnan vakuutustoimintaan liittyy ongelmia.

#### **Kehitystarpeet:**

- arvioida UAV-aluksiin liittyvän mahdollistavien säädösten tarve ja vaikutukset

### **2.9 Raideliikenteen robotisaatio**

Autonomisilla (täysin automatisoiduilla tai etä-/kauko-ohjatuilla) junilla tarkoitetaan muusta liikenteestä ja liikkujista erotettua autonomista vaunua tai vaunuyhdistelmää. Tällaiset voivat käyttää metrolienteelle ominaista täysin eroteltua rataverkkoa tai vain määrätyn yhteysvälin liikennöintiä, kuten lentokentillä terminaalien välinen liikenne. Näistä käytetään kirjallisuudessa nimitystä (engl.) *people mover* tai esimerkiksi horisontaali-/vaakahissi.

Raideliikenteessä robotisaatio on keskittynyt kulunohjaukseen ja tasoristeyksien turvaamiseen. Tasoristeyksissä lähestyvän junan tulee käynnistää turvaamistoimia ilman ihmisen toimia. Näitä ovat esimerkiksi turva- ja varolaitteiden käyttö ja tasossa risteävän ajoneuvoliikenteen ajallinen erottaminen junaliikenteestä.

Autonominen juna on erittäin pitkälle vietyä automatisointia. Junan yksittäisiä toimintoja kuten liikkeelle lähtöä, kiihdytystä, matka-ajoa, hidastamista, pysäyttämistä on kehitetty pitkälle. Eräs jäljelle jäävä turvallisuuspuute liittyy asemalle tuloon, kun laitureita ei ole fyysisesti erotettu liikkuvista junista.

**Kehitystarpeet:**

- analysoida raideliikennemuotojen (raitiovaunu, metro, lähijuna, kaukojuna, suurnopeusjuna) toiminnalliset ja kognitiiviset vaaran mahdollisuudet ja epäjatkuvuuskohdat
- ymmärtää rajoitukset, haasteet, arvot ja mahdollisuudet, jotka koskevat esimerkiksi raideliikenteen täydellistä erottelua muusta liikenteestä, innovatiivisia materiaaleja, autonomisen raideliikenteen kulunohjausta ja uudenlaisia raideliikennejärjestelmiä

**2.10 Meriliikenteen robotisaatio**

Meriliikenteellä on EU:n sisällä haasteita, kuten rahtimäärien merkittävä nousu, tiukentuvat ympäristövaatimukset ja uhkaava pula merenkävijöistä tulevaisuudessa. Autonominen laiva vaatii kehittyneitä teknologia- ja viestintäratkaisuja aluksessa itsessään, mutta myös maalla. Laivassa tulee olla tehokkaat ja luotettavat anturiteknologiat esteiden havaitsemiseen ja niiden väistämiseen. Laivan järjestelmät tarvitsevat tarkan sijainnin, nopeuden, suunnan ja reitin. Autonominen laiva mahdollistaa tehokkaamman ja kilpailukykyisemmän aluksen ja operoinnin. (MUNIN 2012–15)

Nykyisten kansainvälisten määräysten mukaan miehittämättömät alukset ovat laittomia, sillä miehistölle on asetettu vähimmäismääräyksiä. Miehittämättömiin laivoihin siirtymisen on arvioitu tuovan useita säästöjä. Laivalla tarvittavaan henkilöstöön liittyvät kulut voisivat käytännössä poistua. Alusten poltto-ainekulut pienenisivät 15–20%. Miehistötilojen ja niihin liittyvien järjestelmien kuten lämmityksen, sähkön ja vesi- ja viemärijärjestelmien poistaminen lisäisi lastitiloja 15%. (Levander 2014)

Kauko-ohjausta pidetään turvallisempana kuin laivan ohjausta komentosillalta. Joitakin laivan hallintaan liittyviä tehtäviä voidaan siirtää maalta hoidettaviksi. Laivan autonomiset päätöksentekojärjestelmät olisivat laivassa (MUNIN 2012–15). Käytännössä maalla sijaitsevassa komentokeskuksessa työskentelevä kapteeni voisi kauko-ohjata useaa laivaa. (Levander 2014) Autonomian ratkaisut kuten miehittämätön komentosilta ja konehuone, maalla toimiva komentokeskus ja viestintäarkkitehtuuri yhdistävät aluksen ja maalla toimivan kapteenin.

**Kehitystarpeet:**

- ymmärtää miten autonomisen aluksen teknisten järjestelmien kehitystyön tuloksia voidaan käyttää siirtymä- ja kehitysvaiheen aikana
- ymmärtää miten voidaan edistää meriliikenteen tehokkuutta, turvallisuutta ja kestävyyttä lyhyellä aika välillä
- kehittää ympäristön havainnointia, uusia huolto- ja toiminnallisten käsitteiden määrittelyä sekä pidemmälle kehitettyjä komentosillan sovelluksia.

**2.11 Viranomaishyväksynät ja lainsäädäntö**

Autonomisilla ajoneuvoilla saa kokeiluluonteisesti ajaa tieliikenteessä useissa maissa, lähinnä Euroopassa ja Yhdysvalloissa. Kalifornia, Florida ja Nevada ovat sallineet autonomisten ajoneuvojen käytön yleisillä teillä tutkimustarkoituksissa (AP 2014). Jonkun auktorisoidun tahon on todennettava, että autonomiset ajoneuvot eivät aiheuta liikenteessä tarpeetonta riskiä. Ongelmana on, että käytettävät teknologiat ovat uusia. Ei ole olemassa standardeja, joita vastaan niiden turvallisuutta voitaisiin arvioida. Yhdysvaltojen liittovaltion ajoneuvohallinto on ilmoittanut, ettei se aio lähiaikoina laatia autonomisia ajoneuvoja koskevia määräyksiä tai standardeja. Se ei myöskään halua, että osavaltiot alkavat laatia omia määräyksiään (AP 2014).

Autonomisten ajoneuvojen säädöksiä on tutkittu myös Suomessa. Vielä ei ole riittävästi tietoa, minkälaisia viranomaisvaatimuksia ja tyyppihyväksyntävaatimuksia autonomisille ajoneuvoille tulisi säätää. Autonomiset ajoneuvot aiheuttavat muutostarpeita nykyisin voimassaolevaan tieliikennelakiin ja sitä täydentäviin asetuksiin. Muutosten tulee olla yhteensopivia YK:n suunnittelemien Wienin sopimuksen (Vienna Convention 1968) muutosten kanssa. Muutoksilla sallitaan autonomisten autojen käyttö globaalisti yhteensopivalla tavalla.

Lainsäädäntö ja säädökset yleisesti luovat pohjan vastuukysymysten käsittelyyn. Lainsäädännön on seurattava todellista teknologia- ja käyttökehitystä ja kansalaisten oikeuskäsitystä myös koskien autonomisia ajoneuvoja.

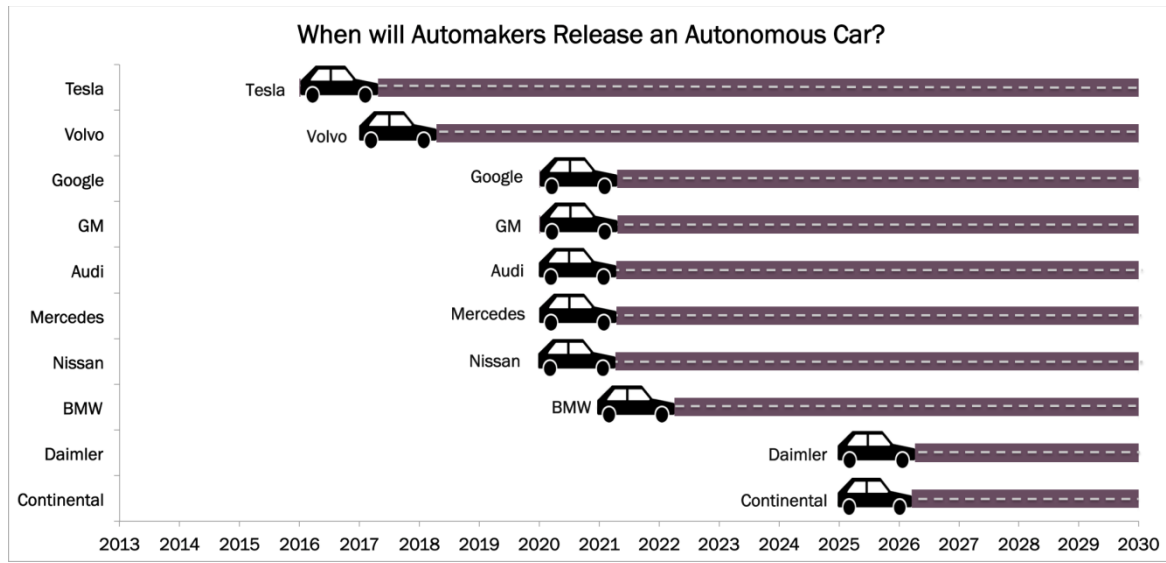
#### **Kehitystarpeet:**

- ymmärtää, mitä seikat vaikuttavat autonomisten ajoneuvojen tieliikenteeseen hyväksymiselle, tyyppihyväksynnälle, katsastukselle ja käytöstä liikenteessä
- tieliikennelain ja asetusten muutostarpeiden tarkastelu kansainvälisten säädösmuutosten mukaisesti
- tyyppihyväksynnän muutostarpeet
- katsastuksen ohjeistuksen muutostarpeet
- muiden säädösten muutostarpeet

### **3. Testialue ja kokeilut**

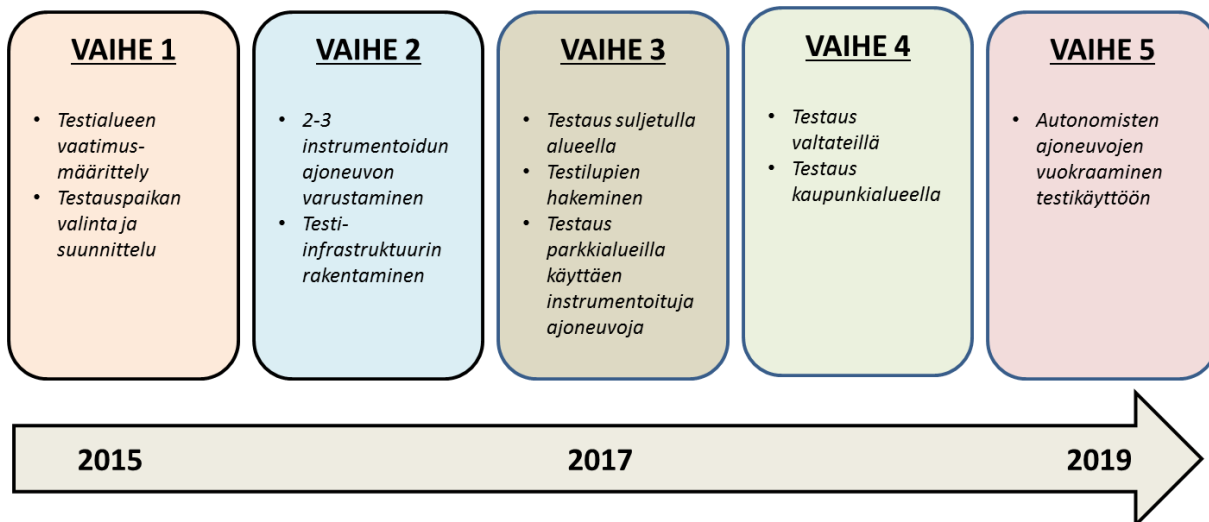
Autonomisia ajoneuvoja tulee testata tätä tehtävää varten suunnitelluilla erillisillä testialueilla, mutta myös tie- ja katuolosuhteissa. Testialueilla tulee pystyä varautumaan erilaisiin liikennetilanteisiin ja olosuhteisiin. Kokeiluissa on pystyttävä testaamaan teknisiä järjestelmiä ja tiedonsiirtoa – kuten toimivuutta, viiveitä, häiriöalttiutta, toipumista häiriötilanteista ja luotettavuutta – sekä käyttäjäreaktioita – kuten käytettävyyttä, käyttöliittymiä ja käyttäjähyväksyttävyyttä.

Kokeilujen järjestäminen vaatii alkuvaiheessa suljetun testausalueen, sillä riskit edetä suoraan liikenteen sekaan instrumentoidulla autonomisella ajoneuvolla ovat liian suuret. Kokeilut vaativat alkuvaiheessa 2-3 auton varustamisen tulevaisuuden teknologialla (ympäristön havainnointi, tiedonsiirto taustajärjestelmien kanssa sekä kuljettajan käyttäytymisen arviointi). Autonvalmistajilta keskeneräisiä kehitysmalleja ei ole saatavilla. Robottiautojen markkinoille tulo tulee ajoittumaan aikaisintaan 2020 luvulle [Kuva 6].



Kuva 6. Autovalmistajien julkaisuajankohtien ennuste EPoSS (2014).

Testialueen rakentaminen kannattaa vaiheistaa siten, että aikataulu on realistinen uusien ajoneuvojen markkinoille tulon kannalta. Toisaalta testialueen infrastruktuuria ja ajoneuvoja kannattaa rakentaa etupainotteisesti, jotta suomalainen ohjelmistoteollisuus pääsee mukaan autoteollisuuden alihankintaketjuun asioiden ollessa kehitysvaiheessa (Kuva 7).



Kuva 7. Testialueen rakentamisen eteneminen.

Kokeilualueella on myös toisenlainen tehtävä. Niiden yhteydessä voidaan vaikuttaa siihen, miten tulevat autoilijat ottavat vastaan autonomiset ajoneuvot.

#### Kehitystarpeet:

- testialueen löytäminen ja sidosryhmien sitouttaminen sekä tarpeiden määrittely suomalaisen elinkeinoelämän tarpeet huomioiden
- testialueen rakentamiseen liittyvät luvat ja vaatimukset sekä niiden toimintaa mahdollistavat ja tukevat säädökset
- instrumentoitujen ajoneuvojen rakentaminen
- testialueen rahoittaminen, rakentaminen ja ylläpito.

## Lähdeviitteet

**Associated Press AP (2014).** California puzzles over safety of driverless cars. *Daily Herald* 21.12.2014.

**BCC Research (2014).** Global Markets for Machine Vision Technologies. Report Code IAS010E. Sep 2014. 377 p.

**Convention on Road Traffic. (1968).** Vienna. 8 Nov 1968.

**Discover (2014).** Google's Car Is the Face of Future Robots. Blog -artikkeli: <http://blogs.discovermagazine.com/lovesick-cyborg/2014/12/31/>. Viitattu 6.1.2015.

**Eno (2013).** Preparing a Nation for Autonomous Vehicles. Center for Transportation

**EPoSS (2014).** European Roadmap Automated Driving. Internal Draft Version 6.0, European Technology Platform on Smart Systems Integration, September 23, 2014.

**Frost & Sullivan (2014a).** 2014 Outlook of the Global Automotive Industry. *Strategic Insight*, February 2014, 63-79.

**Frost & Sullivan (2014b).** Innovations in Unmanned Vehicles – Land, Air, and Sea. *Technical Insights*. October 2014.

**KPMG (2013).** Self-driving Cars: Are We Ready?

**Levander (2014).** Voyaging into the future. Rolls-Royce press release. 2014.

**MUNIN (2012-25).** MUNIN – Maritime Unmanned Navigation through Intelligence in Networks, Project website (<http://www.unmanned-ship.org/munin/>). Viitattu 16.1.2015.

**Trafi (2015).** Liikenteen turvallisuusviraston internet-sivusto: Miehittämättömät ilma-alukset. [http://www.trafi.fi/ilmailu/ilma-alukset/miehittamattomat ilma-alukset](http://www.trafi.fi/ilmailu/ilma-alukset/miehittamattomat_ilma-alukset). Viitattu 7.1.2015.

# Teknologiatiekartat ja suomalaisten yritysten kyvykkyydet

Cristina Andersson ja Jari Kaivo-oja

## 1. Johdannoksi: Miksi AiRo?

Robotteja on ollut lähinnä teollisuuden käytössä jo pitkään. Tehtaiden automatisointi ei ole uusi ilmiö. Kuitenkaan ilmiötä ei ole voitu kutsua *robotisaatioksi* kuin muutaman vuoden ajan.

Robotisaatiolla tarkoitetaan:

1. *Ilmiötä, jossa robotit kykenevät hoitamaan yhä laajempaa tehtäväkenttää.* Robotit korvaavat ihmisen työsuoritteiden yhä useammassa työssä. Näin on käynyt teollisuudessa, jatkossa myös palvelutyössä ja tietotyössä. Robotisaation vaikutukset ulottuvat syvälle koko yhteiskuntaan, elinkeinoelämään ja kansalaisiin. Ilmiössä on kyse myös etiikasta. Kun robotit tulevat yhä lähemmäksi ihmistä, jopa ihmisen sisälle, tarvitaan eettistä keskustelua uuden lainsäädännön pohjaksi. Myös yhteiskunnan tulonjakokysymyksiä tulee miettiä, varsinkin murroskautena, jolloin ihmistyö etsii uusia muotoja.
2. *Modernia robotiikkaa.* Verrattuna klassiseen robottiin, joka kykeni tekemään muutamia eri toistoliikkeitä, moderni robotti on
  - a. Ohjelmoitavissa tekemään monia, monimutkaisiakin, liikeratoja ja sen ohjelmointi helpottuu jatkuvasti
  - b. Kykenevä yhä autonomisempaan toimintaan, havainnointiin, oppimiseen ja päätöksentekoon *keinoälyn, sensoreiden ja asioiden internetin* avulla
3. *Eri asioiden robotisoitumista.* Esimerkiksi auto, joka robotisoituu vähitellen kohti täydellistä itsekseen liikkuvaa "robottiautoa". Omatoimiseen liikkumiseen kykeneviä autoja on jo olemassa ja lähes kaikki uudet autot sisältävät robottiteknologiaa. Kodinkoneet ja muut palvelulaitteet robotisoituvat osa osalta samoin kuin erilaiset virtuaaliset koneet.
4. *Ihmisen robotisoitumista.* Ihminen hyötyy henkilökohtaisesta robotiikasta suuresti. Esimerkiksi jo nyt on tarjolla robottiteknologiaa hyödyntäviä *kyberosia*, jotka auttavat vaikkapa halvaantuneen kävelemään tai kädettömän saamaan itselleen uuden täysin toimivan käden. Fyysisesti raskasta työtä tekeville on tarjolla lisävoimaa erilaisten robottiosien kautta.
5. *Uuden elinkeinoalan syntymistä.* Robotisaatio synnyttää toimintaa, jota aiemmin ei ole ollut olemassa. Esimerkiksi turva-, kaivoteollisuus-, lääketiede ja terveydenhoito- sekä energia-aloilla tullaan näkemään täysin uutta yritys- ja elinkeino toimintaa. Esimerkkinä "dronet", eli miehittämättömät ilma-alukset, jotka ovat löytäneet metsään eksyneen

AiRo on voimistuva megatrendi. Omaperäisellä strategialla Suomi profiloituu nopeiden omaksujien kärkijoukkoon ja pääsee mukaan tuottoisaan globaaliin lisäarvoverkkoon.

perheen tai pystyvät kartoittamaan maastoa ja tunnistamaan etäältä hyödyllisiä mineraaleja sekä ottamaan niistä näytteen. Uusi laajeneva elinkeinoala tulee olemaan robottien ja keinoälysovellutusten huolto- ja korjaustoiminta.

Myös uusia robottitoimialoja syntyy. Esimerkkinä sairaaloiden leikkausrobotit. Erilaiset roboteilla tehdyt leikkaukset ovat voimakkaassa kasvussa ja uusia kirurgisia robotteja on valmisteilla eri tarkoituksiin. Robotilla tehty leikkaus vähentää virheiden määrää, lyhentää toipumisaikaa ja leikkauksen jälkeistä kipua sekä kosmeettisia haittoja.

6. *Teollisuuden jatkuva automaatiotason kasvua.* Ihmistyönmäärä tehdassaleista vähenee entisestään suorittavan työn siirtyessä täysin roboteille. Esimerkiksi kytkintehtaalla työvaihe, jonka ihminen suoritti 10krt/t, sujui robotilta 112krt/t, osoittaa, että ihminen ei voi kilpailla robotin kanssa suorittavassa rutiininomaisessa työssä enää tänä päivänä.
7. Erityinen voimakkaasti robotisoituva alue on puolustusvoimien toimiala ja turvallisuuspalvelut. Tämä alue ei sisälly tähän raportin osioon.

**Kaikki mikä voidaan robotisoida, robotisoidaan.** Tuottavuus, turvallisuus ja työterveysnäkökulmasta näytöt ovat sen suuntaiset, että väittämää tulee pitää tosiasiana ja rakentaa tulevaisuutta siltä pohjalta. Nopean ja ketterän omaksumisen periaate tulee sisäistää koko julkishallinnossa Suomessa. Julkishallinnon on hyödynnettävä robotisaatiota oman toimintansa tehostamiseksi ja julkisen sektorin palveluiden tuotannon tuottavuuden kohottamiseksi merkittäväällä tavalla (Doz, Yves & Kosonen, Mikko (2014) Governments for the Future: Building the Strategic and Agile State).

## 2. AiRo – Artificial Intelligence & Robotics

Suomalaisen robotisaatiostrategian tai toimintaohjelman nimeksi sopii hyvin AiRo-ohjelma. AiRo kertoo maailmalle missä, olemme jo nyt hyviä; ohjelmoinnissa ja älykkyydessä. Airo on myös suomalainen sana, joka kuvastaa apuvälinettä, jolla ihminen pääsee eteenpäin – vaikka vastatulessa. Airo tarjoaa mahdollisuuden erottautua, sillä useimmat maailmalla tehdyt strategiat kulkevat robotiikka-teemalla. On huomautettava, että robotiikka käsitetään nykyisin yllämainitulla modernin robotiikan tavalla.

### 2.1 AiRo-ohjelman fokusalueet

#### 2.1.1 Teollisuus

Teollisuus on varsin automatisoitunutta ja siellä automaatiotason nosto jatkuu. Teollisuuden robotisointi ja automatisointi on sen elinehto. Ilman robotteja ja automaatiota suomalaisen teollisuuden tulevaisuutta on hyvin vaikea nähdä. Teollisuuden robotit ovat varsin kehittyneitä ja soveltuvia modernimpien, joustavuutta edellyttävien ja monimutkaisimpien tehtävien suorittamiseen. Suomen suuri mahdollisuus on teollisuuden edelleen automatisoimisessa. Tarvitaan rohkea strategia, jossa teollisuutta houkutellaan Suomeen tarjoamalla osaamista, infrastruktuuria, tiloja ja korkeaa digitalisoinnin tasoa. Teollisuusrobottien käyttö vähentää myös työperäisiä sairauksia.

Haasteena on alan tietointensiivisen osaamisen puute. ProMetalli-lehti 3/2014 toteaa: ”alan osaajien puute jarruttaa robovallankumousta konepajoissa”. Suomessa on vaikeuksia löytää automaation ja robotiikan osaajia. Eräässä tehtaassa joudutaan jatkuvasti hakemaan osaajia ulkomailta. Heidän mukaansa esimerkiksi tietynlaisen ruuvin ruuvaamisen kykenevän robotin ohjelmointiin löytyy Suomesta hädin tuskin 10 osaajaa. Toinen yritys joutui siirtämään yksikön pois Suomesta juuri osaajien puutteen takia.

### 2.1.2 Palvelualat

Sote-sektorin suuria ongelmia ei voida ratkaista ilman AiRo-teknologioita. Yksi kasvavista ryhmistä ovat yksinasuvat vanhukset, joiden itsenäistä elämää voidaan tukea ja jatkaa robottien avulla. Aiemmin mainitut sairaalarobotit sekä hoivarobotit auttavat potilasta paranemaan ja hoitohenkilökuntaa jaksamaan paremmin työssään. Robottien ansiosta hoitajat voivat myös paremmin keskittyä potilaan yksilölliseen hoivaamiseen ja hänen voinnistaan välittämiseen. Robotit helpottavat myös raskaita töitä ja vähentävät työperäisiä vaivoja ja sairauksia.

AiRo-teknologioiden avulla luodaan lisää työpaikkoja PK-yrityksiin. Tämä on myös Euroopan Unionin toimintalinja.

Palvelualan robotit ovat myös suuri suomalainen mahdollisuus. Suomessa on mobiiliiosaamista, jota tarvitaan liikkuvien palvelurobottien kehittämisessä. Palvelurobottien määrän ja markkinan kasvun ennakoitaan olevan eksponentiaalista lähivuosina ylittäen, eri arvioiden mukaan, 200 miljardin dollarin markkinan vuonna 2020. McKinseyn Global Instituten (MGI 2013) tekemän selvityksen mukaan robotisaation taloudelliset vaikutukset voivat olla jopa luokkaa 6.4tr dollaria vuonna 2025. Vaikutukset koostuvat parantuneesta terveydestä, uusista tuotteista sekä uudesta tavasta tehdä uusia tuotteita ja palveluita.

Palveluihin voidaan lukea myös liikenne, jota käsitellään muissa raporteissa.

### 2.1.3 Tietotyö

Keinoälyn kehittyessä yhä useampi tietotyö voidaan myös korvata tai sitä voidaan tehostaa virtuaalisten robottien tai "keinotoimijoiden" (Artificial Agents) avulla. Jo nyt robotit tekevät mm. lakimiesten tehtäviä. Erilaisten ennakkotapausten ja lakipykäliden selvittelyyn ihmiseltä saattaa kuluja kuukausia, kun robotti tekee saman sekunneissa. Suomelle tietotyön robotisointi tarkoittaa hallinnon keventämistä, tehostamista ja palvelun parantamista. AiRo-ohjelman yhtenä tavoitteena tulisi olla julkishallinnon merkittävä keventäminen robotisaation avulla.

Tietotyön robotiikan uusiin toimialoihin voidaan lukea myös virtuaalirobotit eli keinoälyyn perustuvat digitaaliset autonomiset toimijat, jotka voivat esim. ohjata autonomisesti automaatiojärjestelmiä sekä niiden kehitystä. Suomessa on alan osaamista ja alan kehitysnäkymät ovat hyvät. Virtuaalirobotit ovat globaaleille markkinoille sopivia, monistettavia konsepteja, joita voidaan hyödyntää erikokoisissa, myös joustavuutta vaativissa, ratkaisuisissa.

Tässä on tiivis katkelma USA:n "Roadmap to Robotics" -strategiasta, joka kuvastaa hyvin robotisaation tavoitteita ja mahdollisuuksia:

- Robotisaatio voi muuttaa kansakunnan tulevaisuuden ja seuraavina vuosina se muodostuu kaikkialla läsnäolevaksi teknologiaksi (ubiikkiteknologia) kuten tietotekniikka on tänään.
- Joustavassa tuotannossa robottien avulla voidaan kehittää tuotannollisia systeemejä, jotka ovat taloudellisesti kilpailukykyisiä nk. halvan työvoiman maiden kanssa.
- Keskeinen ajuri robotisaation omaksumiselle on ikääntyvä väestö. Ikääntyvän työvoiman lisäksi uusia haasteita syntyy terveydenhoitojärjestelmään.
- Robottiteknologia on kehittynyt riittävästi, jotta se voi suorittaa ihmisen apuna tehtävät, jotka ovat likaisia, tylsiä ja vaarallisia. Robottiteknologia mahdollistaa uuden sukupolven järjestelmiä, jotka edistävät ihmisten elämänlaatua yhä laajemmissa



ryhmissä. Lisäksi robotit ovat jo todistaneet kyvykkyytensä poistaa välitön vaara pelastus- ja sotilastyössä.

- Robottiteknologia tarjoaa ainutlaatuisen mahdollisuuden sijoittaa alaan, jolla on lyhyellä tähtäimellä todellista potentiaalia luoda uutta työtä, kasvattaa tuottavuutta ja lisätä työturvallisuutta. Robotisaatio mahdollistaa töiden ja teollisuuden palauttamisen kotimaahan (reshoring). Pitkällä tähtäimellä robotisaatio tarjoaa parempaa elämänlaatua yhteiskunnassa, jossa eliniän odotetaan merkittävästi pitenevän entisestään.

Lähde: US Roadmap to Robotics, 2013

### 3. Taustaa AiRo-osaamisen kehittämislle

Tässä selvityksessä keskitymme robotiikka-alan kannalta keskeisiin taustamuutoksiin, tiekarttoihin ja nousemassa oleviin tieto-taitoihin. Viime vuosina on julkaistu lukuisia teknologiaennakointitutkimuksia, joissa keinoälyn ja robotiikan teknologiatekitys näyttöytyy nousevana ja merkitykseltään kasvavana trendinä. Monet kansainväliset korkeatasoiset teknologiatiekarttatutkimukset vahvistavat tämän käsityksen (esim. Yasunga et al 2009). Nämä trendit muodostavat haasteen nopeille omaksujille ja osajille valtiotasolla ja yritysmaailmassa. Aikaisemmin robotisaatiokehityksen painopiste on ollut teollisuuden robotisaatiossa ja automaatiiossa. Nyt palvelurobotisaation nopean kehityksen myötä on alettu korostamaan keinoälyn (artificial intelligence, AI) merkitystä palvelurobotisaatiolle. On syytä korostaa, että ihmiset itsenäisinä toimijoina määrittelevät eettiset rajat keinoälyn käytölle.

Asimovin neljä pääsääntöä voivat toimia lähtökohtina eettisille pohdintoille robotisaation yhteydessä. Nämä neljä pääsääntöä ovat

Sääntö 0: Robotin tulee suojella ihmiskuntaa

Sääntö 1. Robotti ei saa vahingoittaa ihmistä eikä laiminlyönnin johdosta saattaa tätä vahingoittumaan

Sääntö 2. Robotin on toteltava ihmisen sille antamia määräyksiä paitsi milloin ne ovat ristiriidassa ensimmäisen pääsäännön kanssa

Sääntö 3: Robotin on varjeltava omaa olemassaoloaan niin kauan kuin tällainen varjeleminen ei ole ristiriidassa ensimmäisen eikä toisen pääsäännön kanssa (Wikipedia 2014).

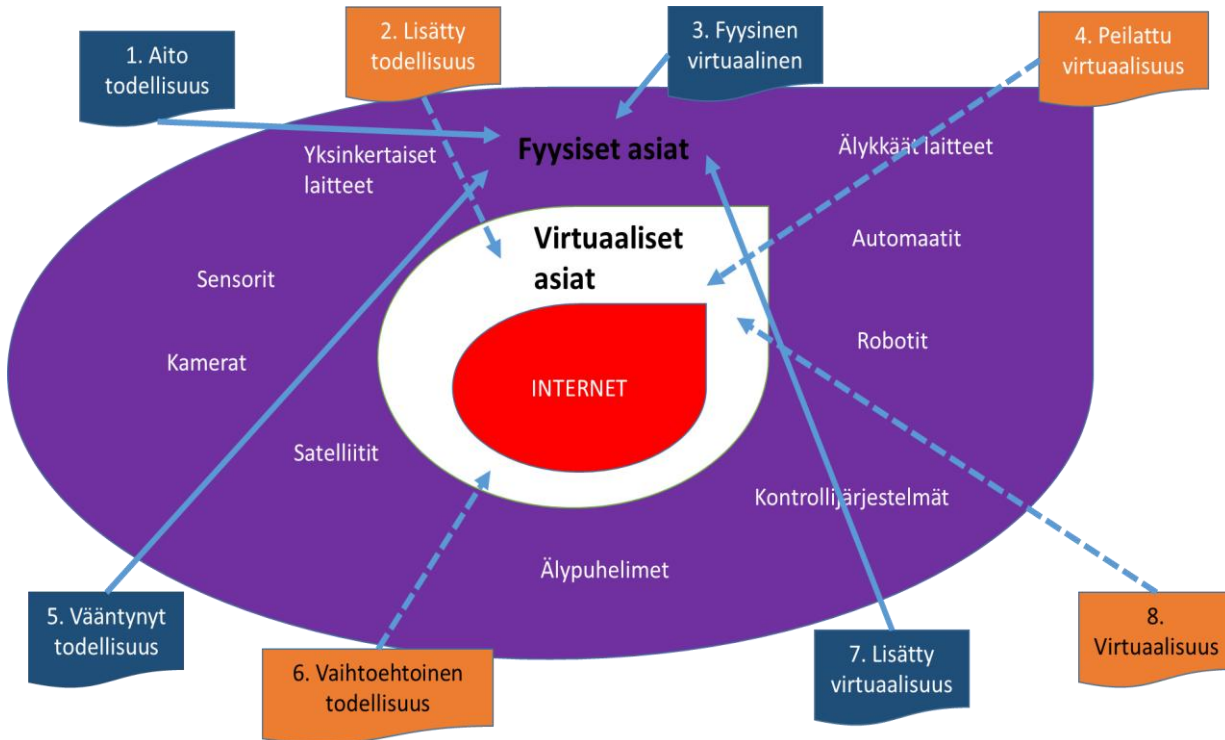
Kuvassa 1 on esitetty neljä erilaista skenaariota robotisaation tulevan kehityksen osalta. Robotteja voidaan kehittää ihmisen näkökulmasta joko substituuteiksi ihmiselle tai ihmistä täydentäviksi komplementtihyödykkeiksi.

<b>Ihmisryhmät</b>	Robottiryhmät korvaavat ihmisryhmiä	Robottiryhmät täydentävät ihmisiä
	Robotti korvaa yksittäisen ihmisen tehtävän	Robotti on täydentävä yksittäiselle ihmisille ja tehtäville
<b>Yksittäinen ihminen</b>		
	<b>Substituutti</b>	<b>Komplementti</b>

Kuva 1. Neljä pääskenaariota robotisaation ja AiRo-kehityksen yhteydessä.

Moderni robotiikka perustuu siis kehittyvään keinoälyyn, sensoreihin ja digitaaliseen verkottumiseen. Robotisaatio on käytännössä keinoälyn ja robotiikan yhdistelemistä joustavaksi teolliseksi toiminnaksi tai palvelutoiminnaksi. Keinoälystä (Ai) ja robotisaatiosta (Ro) voimme käyttää perisuomalaista sanaa AiRo, joka kuvastaa oman kyvykkyyden merkitystä etenemisessä ja kehityksessä. AiRo-sanan käyttäminen hallitusohjelman yhteydessä kuvastaa omaperäistä näkökulmaa ja erilaistumista globaalin kilpailun viitekehityksessä. Suomella on teollisuudessa varsin vahvaa automaatioalan osaamista ja ohjelmointiosaamista, jota tarvitaan keinoäly- ja robotisaatiohaasteen ymmärtämisessä ja käsittelyssä.

Yhdysvaltojen robotisaatiostrategiassa robotisaatio nähdään tärkeimpänä teknologiakehityksen suuntana Internetin jälkeen. Asioiden Internet (Internet of Things, IoT) tai älykkäiden asioiden Internet (Internet of Intelligent Things, IoIT) luokin uudenlaisten teknologisen infrastruktuurin keinoälysovellutuksille ja robottien käytöllä. Digitalisaatio liittyy nykyään moniin teknologisiin muutoksiin. Se luo pohjaa robotisaatiolle ja AiRo teknologioille. Onkin arvioitu, että digitalisaation myötä reaalitytodellisuus ja virtuaalisuus tulevat yhä enemmän olemaan yhteyksissä toisiinsa teknologia-aaltoina. Tämän uudenlaisen vuorovaikutuksen myötä on käyty keskustelua kaikkialla läsnä olevasta arjen ubiikkiteknologiasta. Ubiikkiteknologinen murros tuottaa uudenlaisen kahdeksan eri todellisuuden kokonaisuuden. Voidaan puhua (1) aidosta todellisuudesta (reality), (2) lisätystä todellisuudesta (augmented reality), (3) fyysisestä virtuaalisuudesta (physical virtuality), (4) peilattua virtuaalisuudesta (mirrored virtuality), (5) vääntyneestä todellisuudesta (warped reality), (6) vaihtoehtoisesta todellisuudesta (alternate reality), (7) lisätystä virtuaalisuudesta (augmented virtuality) ja (8) virtuaalisuudesta (virtuality). Nämä eri todellisuudet ovat osa tulevaisuuden yhteiskunnan sosiaalisen vaikutusten ja markkinoiden ”tiekarttaa”.



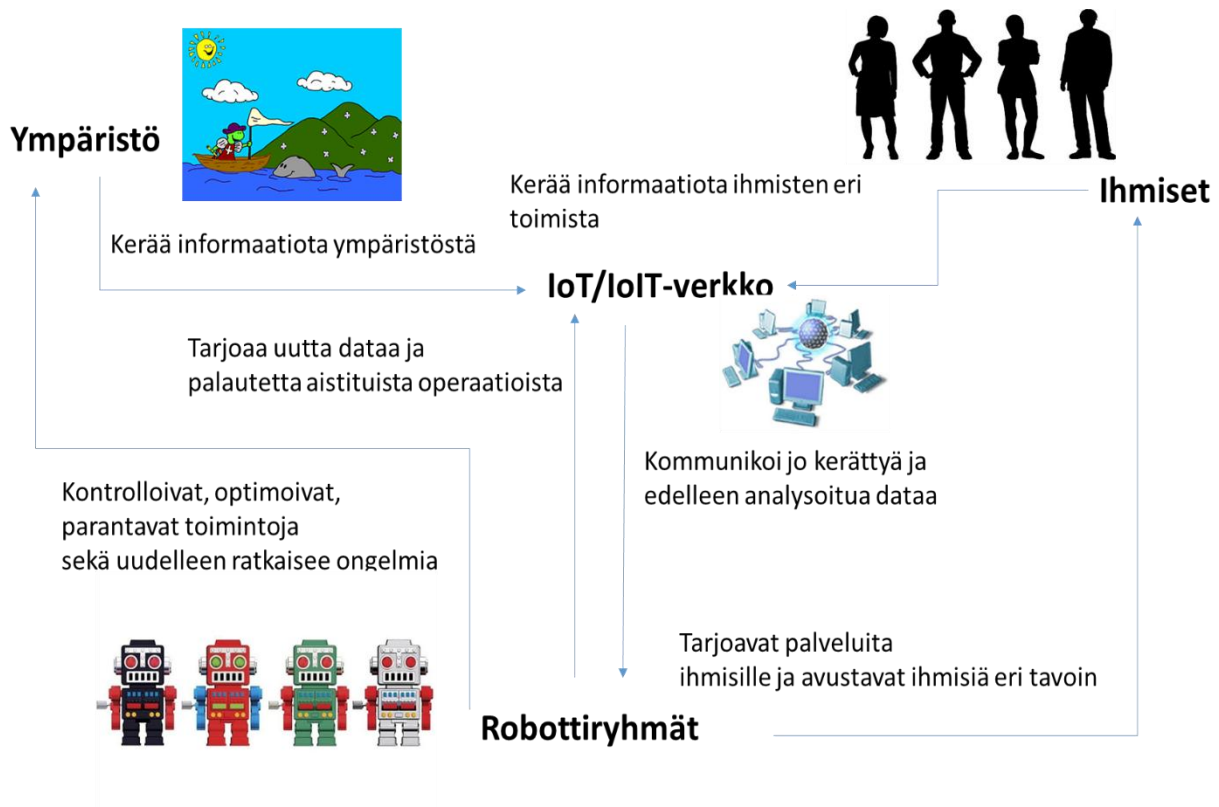
Kuva 2. Eri todellisuudet digitaalisen kehityksen myötä ja Internet of Intelligent Things (IoIT) (Lähde: Pine II & Korn 2011 muokattuna).

Taulukossa 1 eri kaikkialla läsnä olevan, ubiikkiteknologisen kehityksen tuottamat todellisuudet ovat määritelty tarkemmin. Määrittelyn kannalta on olennaista kolme eri ulottuvuutta: aika, tila ja materia. Näiden eri ulottuvuuksien pohjalta voimme tunnistaa kahdeksan ubiikkiteknologian strategista tiekartta-aluetta, joissa keinoäly ja robotisaatio voivat olla teknologisia elementteinä eri tavoin mukana. Ubiikkiteknologisen murroksen myötä digitaalisen rintaman (digital frontier) teknologiakehitys jakaa siis ihmisen todellisuuden näihin eri todellisuuden osalohkoihin. Samalla nämä eri lohkot muodostavat digitalisoituneen yhteiskunnan vuorovaikutuksen kokonaistiekartan. Keinoälysovellutukset ja robotisaatio kytkeytyvät ilmiöinä digitalisoitumiseen, joka on monessa yhteydessä todettu keskeiseksi haasteeksi Suomelle. Robotit, automaattit ja keinoälysovellutukset tulevat olemaan digitalisoituneen yhteiskunnan palveluita ja tuotteita.

Taulukko 1. Ubiikkiteknologisen kehityksen tuottamat todellisuudet (ubiikkiteknologian kokonaistiekartta) (Lähde: Pine II & Korn 2011).

Aika	Tila	Materia	Todellisuustyyppi
1. Aika	Tila	Materia	Aito todellisuus
2. Aika	Tila	Ei-materia	Lisätty todellisuus
3. Aika	Ei-tila	Materia	Fyysinen virtuaalisuus
4. Aika	Ei-tila	Ei-materia	Peilattu virtuaalisuus
5. Ei-aika	Tila	Materia	Vääntynyt todellisuus
6. Ei-aika	Tila	Ei-materia	Vaihtoehtoinen todellisuus
7. Ei-aika	Ei-tila	Materia	Lisätty virtuaalisuus
8. Ei-aika	Ei-tila	Ei-materia	Virtuaalisuus

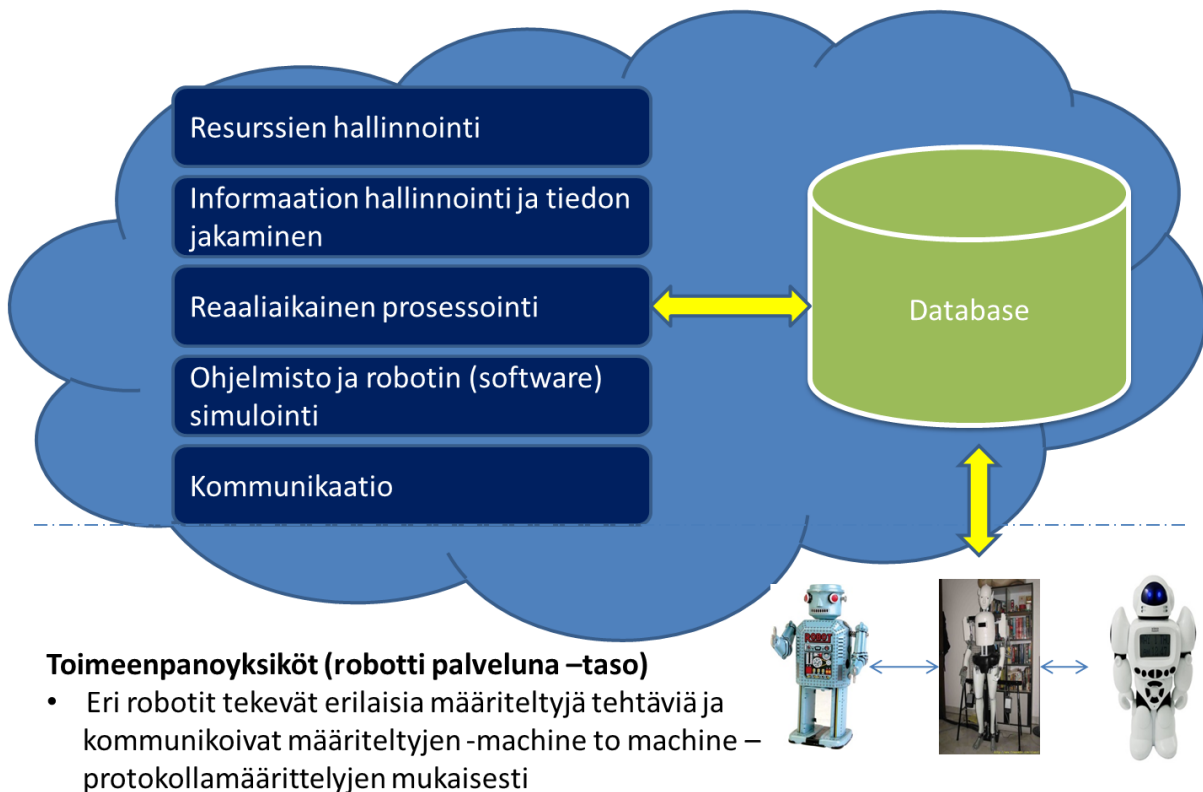
Kuvassa 3 on esitetty asioiden Internetin eli IoT-kehityksen peruspiirteet. Olennaista tässä kehityksessä on se, että ihmiset, ympäristö ja robottiryhmät tulevat olemaan keskinäisriippuvuudessa. Tämän keskinäisriippuvuuden olemassaolon tiedostaminen on tärkeä lähtökohta pohdittaessa Suomen strategisia linjauksia robotisaation ja keinoälysovellutusten osalta. Siksipä Suomessa on alettu myös puhumaan teollisesta Internetistä ja palveluiden Internetistä. Ilman vahvaa AiRo-osaamista ei ole erityisen uskottavaa puhua teollisen Internetin kehittämisestä Suomessa. Myöskään ei ole mahdollista puhua modernista tietoyhteiskunnasta, jos AiRo-tekologinen osaaminen ei ole huipputasoa. Kuva 3 kertoo tästä nykykehityksen peruslähtökohdasta.



Kuva 3. IoIT-kehityksen peruspiirteet (Lähde: Grieco et al. 2014).

Kuva 4 visualisoi pilvilaskennan tukipalveluiden yhteyttä robotisaatioon ja erityisesti robottien tarjoamiin uusiin palveluihin.

## Pilvilaskennan tukipalvelut (cloud computing facilities)



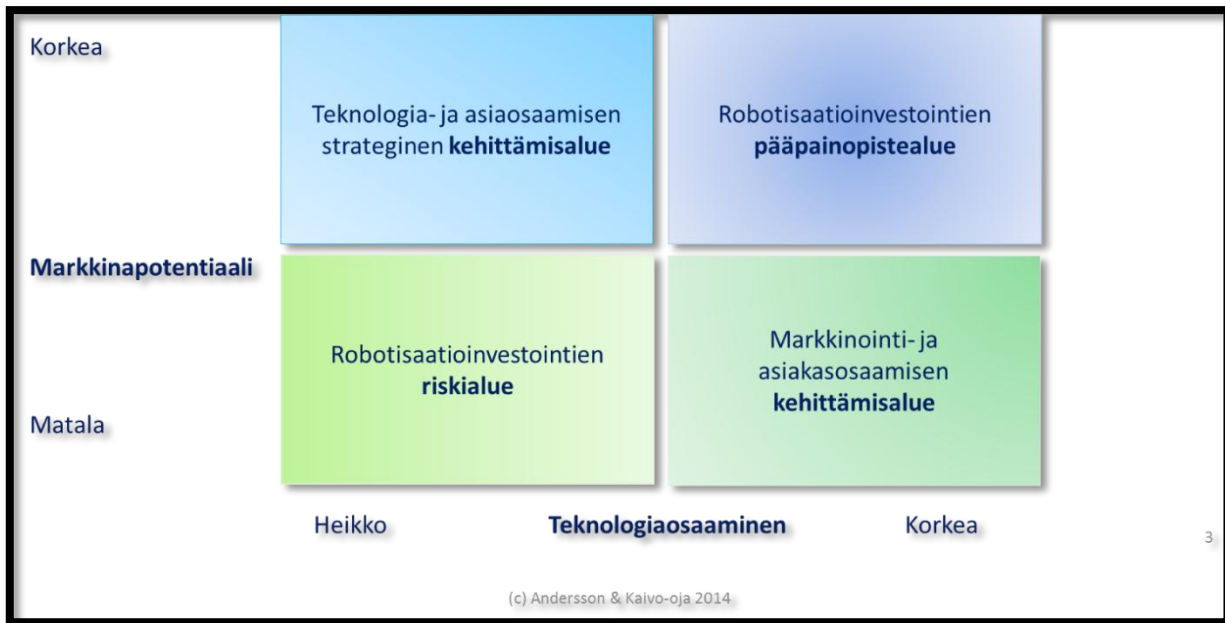
Kuva 4. Pilvilaskenta ja robotisaatio (Lähde: Chibani et al. 2013).

Kuvan 4 pohjalta voimme todeta, että "Robotti palveluna" -ajattelu on eräs keskeinen tulevaisuuden AiRo-tiekartan osa. Moderni palvelutalous tulee pohjautumaan älykkäiden organisaatioiden toimintaan ja AiRo-teknologiseen osaamiseen.

## 4. Osaamisen strateginen kehittäminen Suomessa

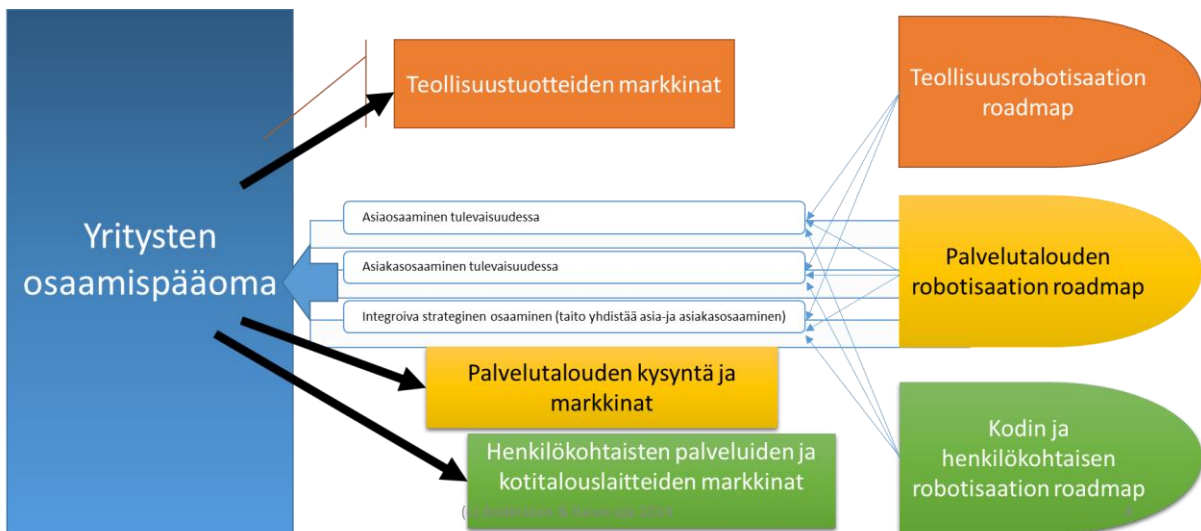
Kuvassa 5 olemme esittäneet neljä erilaista osaamisen kehittämisen osa-aluetta Suomen elinkeinoelämälle. On selvää, että strategisesti viisainta olisi keskittyä markkinapotentiaalin ja teknologiaosaamisen kannalta korkeisiin markkinasegmentteihin ja vältellä liian isoja panostuksia robotti-investointien riskialueisiin. Niillä alueilla, joilla Suomessa on jo valmiiksi korkea teknologiaosaamista, olisi järkevää kehittää markkinoiden tuntemusta ja asiakasosaamista. Toisaalta niillä alueilla, joilla Suomessa on jo korkea markkinointiosaamista, olisi järkevää kehittää uutta teknologiaosaamista. Tämä on perusteltua mm. globaalien vientimarkkinoiden kilpailunäkökulmasta.

AiRo-tekniikat ovat edellytys huipputeknologian viennille, kotimarkkinoiden kukoistukselle sekä ulkomaisten investoijien kiinnostuksen kasvamiselle. AiRo-tekniikat ovat Born Global -luonteisia välittömästi kansainvälisesti monistettavia tuotteita ja liiketoimintamalleja.



Kuva 4. Teknologiaosaaminen ja markkinapotentiaali: robotisaatioinvestointien pääpainopistealue, teknologia- ja asiaosaamisen kehittämisaalue, markkinointi- ja asiakasosaamisen kehittämisaalue ja robotisaatioinvestointien riskialue.

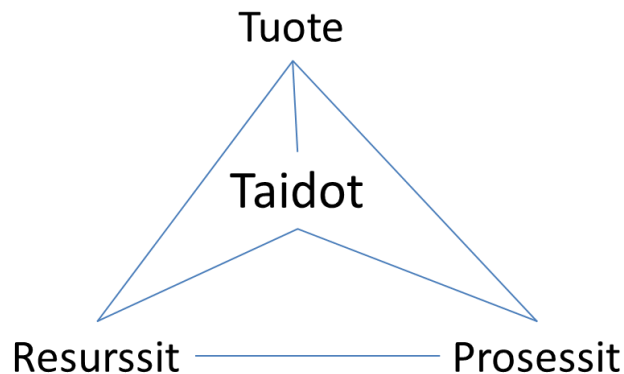
Kuvassa 5 on esitetty yritysten osaamispääoman kehittämishaaste, jonka voidaan katsoa jakautuvan (1) teollisuustuotteiden markkinoihin (usein Business-to-Business -markkinoihin), (2) palvelutuotteiden markkinoihin (usein B-to-Consumers, B-To-Government ja B-to-Networks -markkinoihin) sekä (3) kodin ja henkilökohtaisten palveluiden ja tuotteiden markkinoihin (usein B-to-Consumers ja B-to-Networks -markkinoihin). Näillä eri markkinoilla osaamishaasteet ovat hieman erityyppisiä erityisesti asiakasosaamisen kannalta. Enemmän yhtäläisyyksiä osaamisessa on asiaosaamisen osalta.



Kuva 5. Osaamispääoma, markkinat ja AiRo-alueen strategisesti motivoituneet tiekartat.

Kuva 6 kuvaa itse robotisaatioon ja keinoälysovellutuksiin liittyvien tuotteiden osaamisen kehittämishaastetta. Taitojen kehittäminen riippuu aina itse tuotteesta (tai tuotesortimentista), käytettävistä resursseista ja prosesseista, joiden yhteydessä taitoja hyödynnetään (Stenmark & Malec 2015). AiRo-teknologioiden muutos tulee merkitsemään isoja muutoksia monissa

teollisuuden ja elinkeinoelämän prosesseissa, mikä mullistanee monia nykyisiä logistisia tarjontaverkkoja (Supply-Chain Networks Logistics).



Kuva 6. PPR-malli taitojen kehittämisen lähtökohtana (Lähde: Stenmark & Malec 2015).

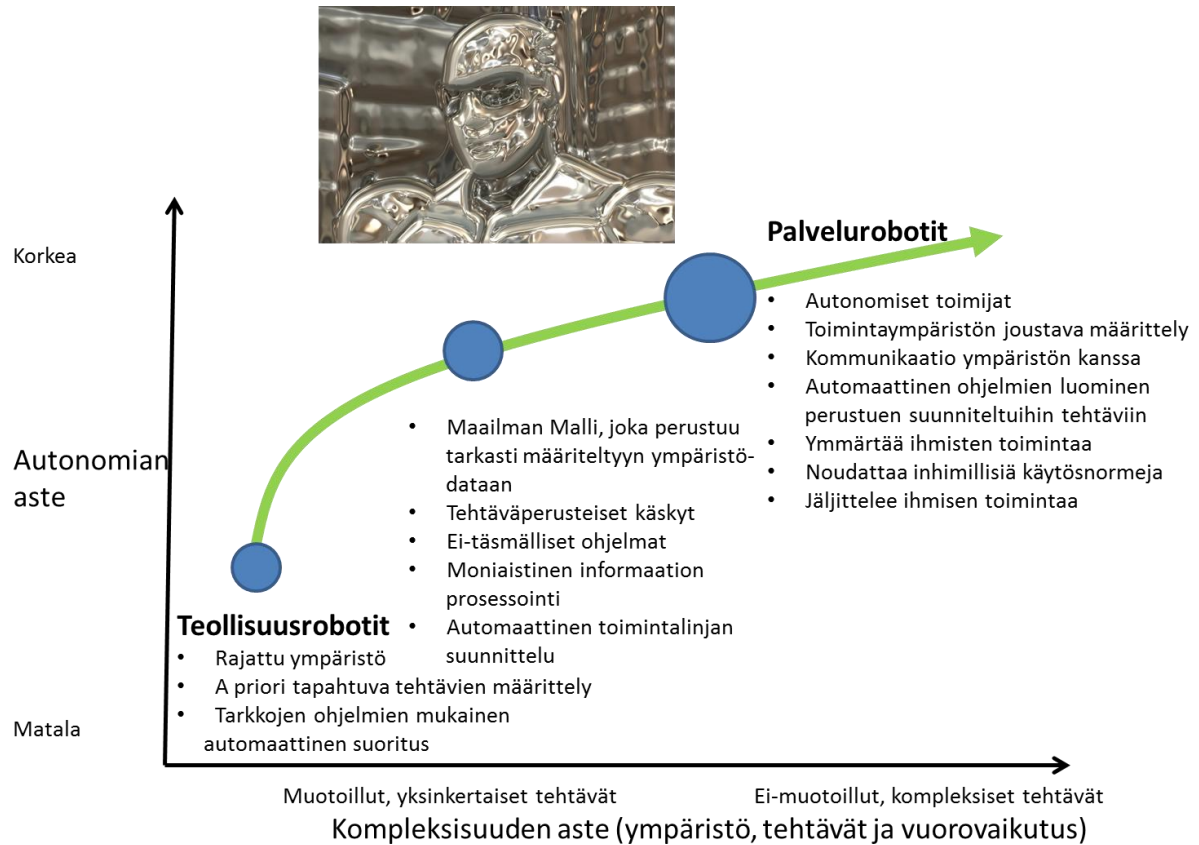
AiRo-teknologioiden omaksuminen ja hyväksikäyttö elinkeinoelämässä edellyttää laadullisen ennakkointitoiminnan hyödyntämistä monipuolisesti eri ammattien osalta, eri toimialoilla ja eri elinkeinoissa. Dynaaminen osaamispääomakehitys tulee olla Suomen koulutuspolitiikan kehittämisen peruslähtökohta (Teece 2007).

## 5. AiRo-teknologiakehityksen kannalta keskeiset teknologiatiekartat

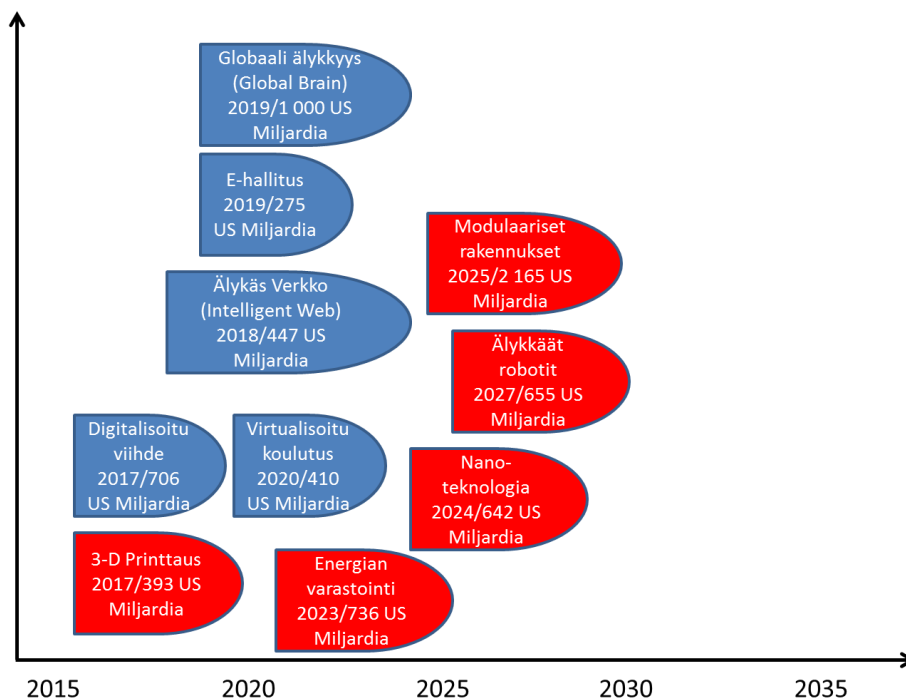
Seuraavaksi käsittelemme teknologiakehitykseen liittyviä tiekarttoja. On syytä korostaa, että teknologista kehitystä kuvaavat tiekartat ovat suuntaa antavia, koska aina on olemassa myös häiritseviä teknologiakehityksen tiekarttoja, jotka voivat vaikuttaa tulevaan teknologiakehitykseen (Kostoff et al. 2004). McKinsey Global Instituten raportti tekinologiakehityksestä määrittelee

kehittyneen mm. robotisaation, autonomiset tai lähes autonomiset liikkumisvälineet, mobiilin Internetin, asioiden Internetin (IoT), pilviteknologian, tietotyön automatisoinnin, 3-D printtaamisen, pilvilaskennan potentiaalisiksi häiritseviksi teknologia-aalloiksi (McKinsey Global Institute 2013). Kuvassa 7 on kuvattu tiekarttaa siirryttäessä teollisuusrobotisaatiosta palvelurobotisaation aikaan. Merkittävä muutos tulevassa AiRo-teknologisessa kehityksessä tulee olemaan autonomisten (tai lähes autonomisten) toimijoiden ja robottien merkityksen kasvu.

AiRo-huipputeknologioiden suvereeni hallinta mahdollistaa osallistumisen kansainvälisesti merkittäviin tutkimushankkeisiin sekä ulkomaisten sijoittajien kiinnostumisen suomalaisesta elinkeinoelämästä ja osaamisesta.



Kuva 7. Perustiekartta 1. Teollisuusrobotisaatio ja palvelurobotisaatio (Lähde: Haidegger et al. 2013).

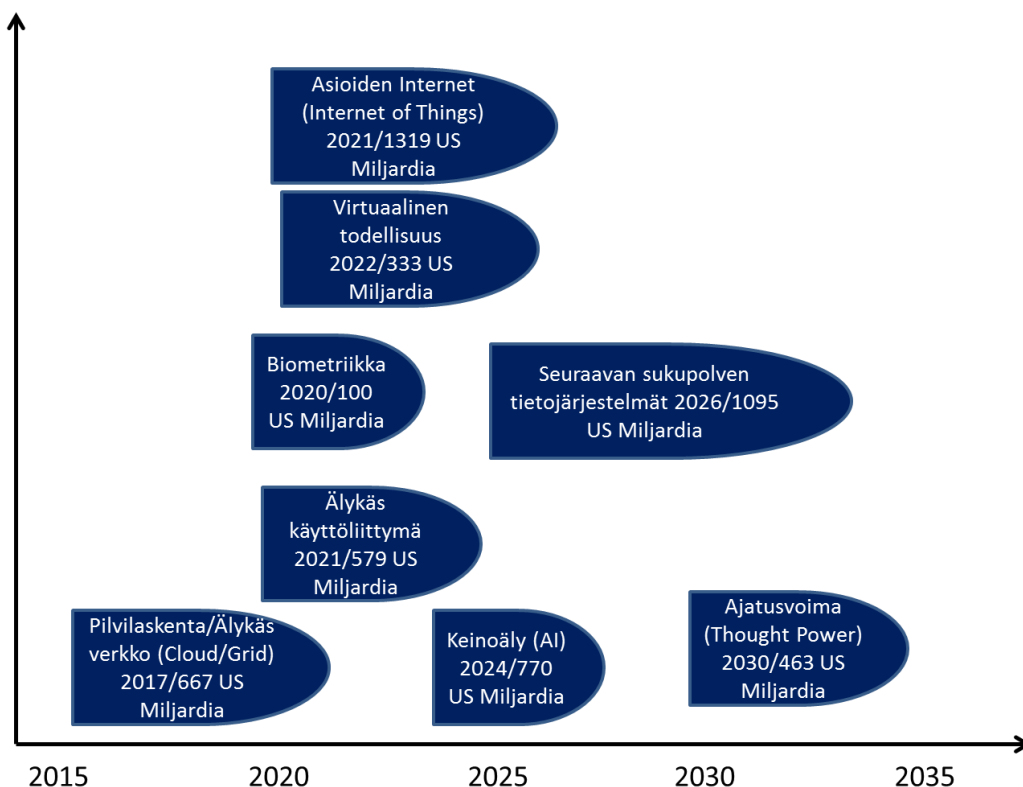


Kuva 8. Perustiekartta 2. Digitalisaation ja robotisaation keskeiset teknologiat (Lähde: TechCast 2014).



Kuvassa 8 on esitetty digitalisaation ja robotisaation keskeiset teknologiat. Kuten selvästi näemme, digitalisaatiokehityksen teknologiat luovat pohjaa robotisaatiokehitykselle ja sen mukaiselle AiRo-teknologisiselle muutokselle tulevaisuudessa. Autonomisten robottien kehitys on keskeinen kehityssaskel tulevaisuudessa (Ingrand & Ghallab 2015).

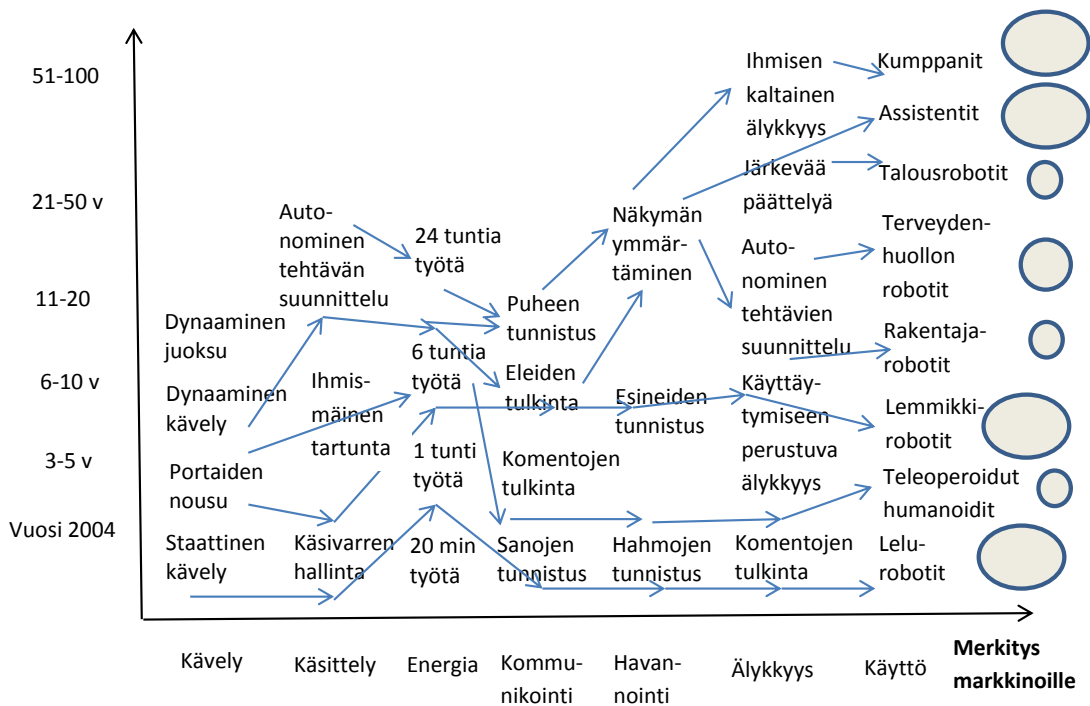
Kuvassa 9 on esitetty IT-alan teknologiakehitys. Olennaista tämän tiekartan osalta on huomata, että asioiden Internet eli IoT-kehitys luo pohjan AiRo-teknologisisille sovelluksille ja erityisesti robotisaatiolle. Yhdysvaltojen robotisaatiostrategiassa määritelty strateginen ote on perusteltavissa kuvan 8 tiekartan ja toisen kuvan 9 tiekartan pohjalta. Tästä kansainvälisestä strategisesta näkökulmasta käsin myös Suomessa on syytä ymmärtää digitalisaation teknologioiden ja IT-teknologia-aaltojen luovan teknologiaperustaa lisääntyvälle robotisaatiolle ja keinoälyn hyödyntämisellä yhteiskunnassa ja kansantaloudessa.



Kuva 9. Perustiekartta 3. IT-alan teknologiakehitys (Lähde: TechCast 2014).

Kuvassa 10 on esitetty hiukan vanhempi teknologiatiekartta robotisaation osalta. Se kuvaa hyvin erilaisia robottityyppejä, jotka ovat jo nyt nähtävissä alan markkinoilla. Robotisaatiokehityksen myötä roboteista on tulossa ihmisen kumppaneita, avustajia, talousrobotteja, terveydenhuollon piirissä palveluita tarjoavia robotteja, raskaita töitä tekeviä rakentaja-robotteja, lemmikkirobotteja, lelurobotteja ja ihmistä muistuttavia olioita. Nämä erityyppiset robotit kehittyvät koko ajan ja niiden "kehittyneisyys" etenee samaan tyyliin kuin ihmisen kehitys lapsesta aikuiseksi kehittyä. Robotit voidaan jakaa myös kolmeen perusryhmään: sosiaalsiin robotteihin, pehmorebotteihin ja älykkäisiin robottiseuralaisiin (kuva 11). Nämä erityyppiset robotit voivat tarjota mitä erilaisimpia palveluita ihmisille ja organisaatioille.

Panostamalla AiRo-teknologioiden kehittämiseen ja alan osaamiseen synnytetään radikaaleja innovaatioita, jotka nostavat Suomen kilpailukykyä globaalilla pelikentällä.

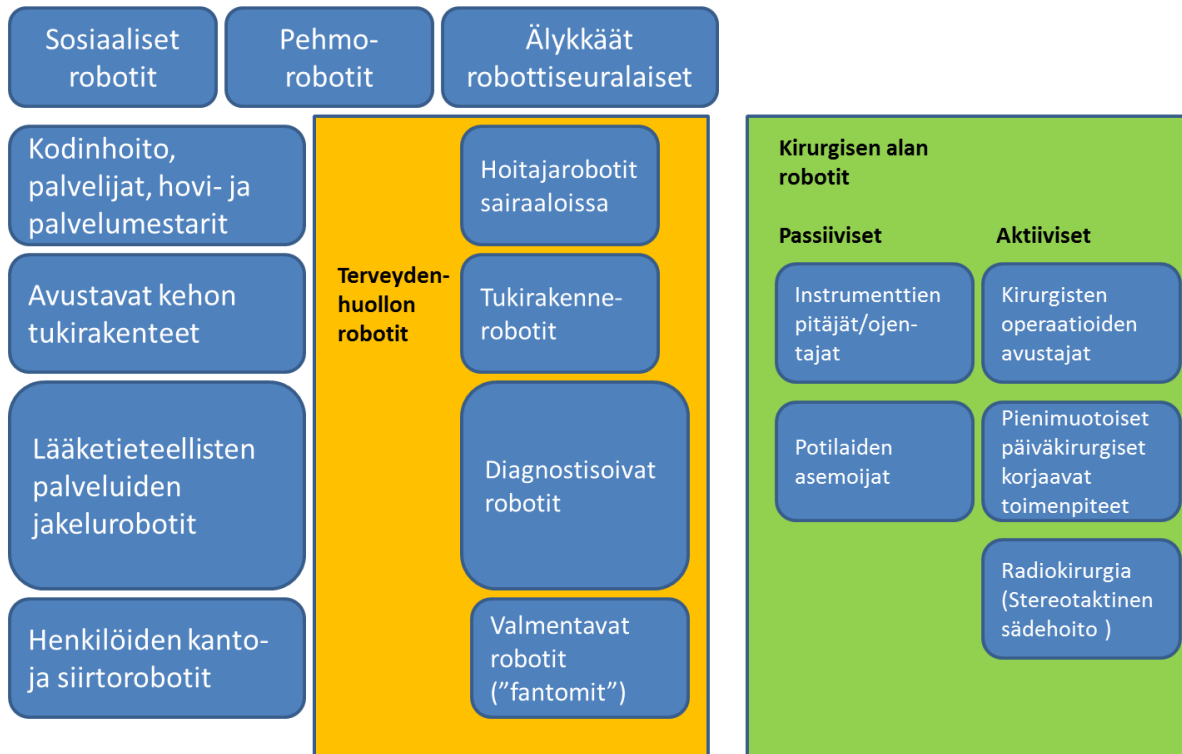


Kuva 10. Robotisaation perustiekartta. Robotisaation tarkennettu tiekartta (Lähde: European Robotics Research Network, EURON 2004).

Koska robotisaatiolla on paljon annettavaa hyvinvointipalveluiden ja erityisesti terveydenhuollon piirissä, olemme koonneet kuvaan 11 henkilökohtaisia palvelurobotteja koskevan yhteenvedon. Terveydenhuollon piirissä robotisaatio on kehittynyt voimakkaasti viime vuosina ja voimme tunnistaa oman terveydenhuollon robottiryhmän ja oman kirurgisen alan robottiryhmän.

Sote-sektorin suuria ongelmia ei voida ratkaista ilman AiRo-teknologioita. Sosiaali- ja terveysministeriö on velvoitettava rakentamaan kustannustehokas ja korkeaan palvelutasoon perustuva Sote-sektorin AiRo-ohjelma. Tarvitaan myös kovat kansainväliset kriteerit täyttävä AiRo-sairaalan pilottikonsepti Suomeen.

## Henkilökohtaiset palvelurobotit



Kuva 11. Terveys- ja lääkintäalan robotisaatio osana hyvinvointirobotiikkaa (Lähde: Haidegger et al. 2013).

Palvelutuotannon robotisaatiokehityksen kannalta on keskeistä älykäs kaupunkikehitys. Tästä kehityksestä on esitetty lukuisia tiekarttoja, jotka monet painottuvat liikenteen älykkääseen suunnitteluun ja asumiseen (esim. Lee, Phaal & Lee 2013). Näitä tiekarttoja on käsitelty selvityksen muissa osioissa ja liikenne- ja viestintäministeriön erillisraporteissa.

## 6. Suomalaisen yritysten kyvykkyyksien ja osaamispääoman kehittäminen

### 6.1 Poliittikkasuositusten tausta

Professori Frank W. Geels (2011) on esittänyt mallin innovaatioiden kehityksestä ja innovaatiojohtamisesta. Hänen tutkimuksensa mukaan globaalissa taloudessa toimivilla valtiolla on tunnistettavissa kolmitasoinen systeeminen innovaatiojärjestelmä, joka ohjaa innovaatiojärjestelmän kehitystä. Mallia voidaan käyttää erityisesti kansallisessa systeemisten innovaatioiden edistämiseksi ja siirtymäjohtamisessa. Geelsin malli soveltuu laajemminkin eri innovaatiotyyppien (inkrementaaliset eli asteittaiset ja radikaalit eli mullistavat innovaatiot) kehittämisen lähtökohdaksi (Kern 2012). Järjestelmän tasot muodostuvat (1) globaalin kehityksen maisemasta, (2) makrotason sosio-tekniisestä regiimistä ja (3) mikrotason niche-innovaatioista. Nämä innovaatiojärjestelmän osat ovat

Robotisaatio, automaatio ja muut AiRo-teknologioihin liittyvät alueet edellyttävät uutta osaamista, jota Suomessa ei ole tällä hetkellä tarpeeksi. Osaamiskuilut on kurottava nopeasti umpeen, jopa teknologiasiirtomahdollisuutta ja dynaamista osaamispääoman rekrytointia hyödyntäen. Opetus- ja kulttuuriministeriö sekä Opetushallitus velvoitetaan luomaan ohjelma uuden osaamisen kehittämiseksi.

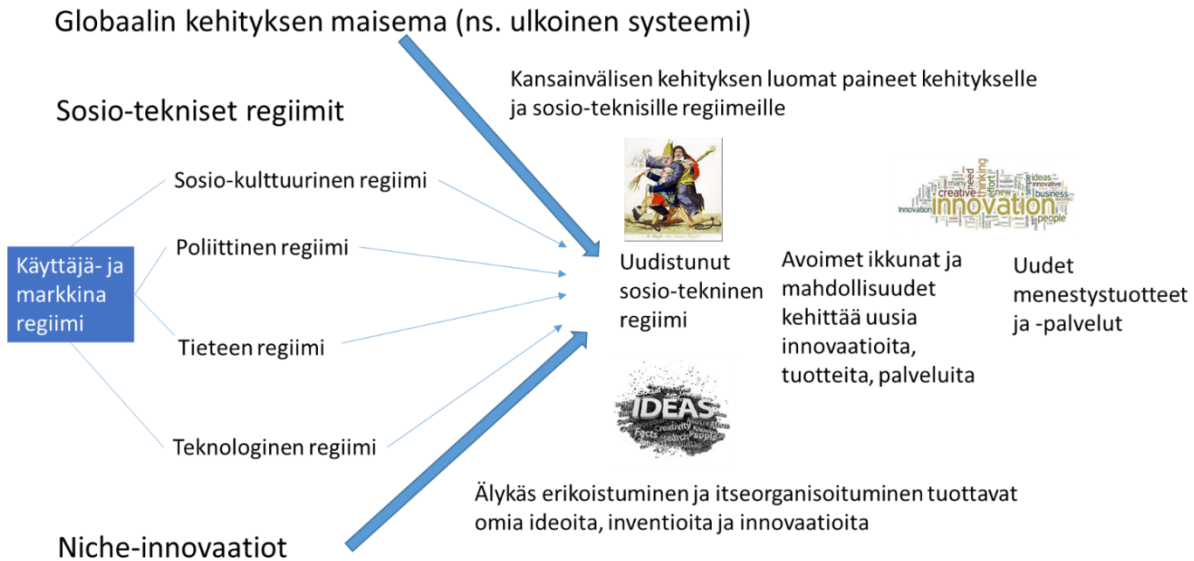
kuvattu kuvassa 12. Sosio-tekniinen regiimi sisältää sosio-kulttuurisen regiimin, poliittisen regiimin, tieteen regiimin ja teknologisen regiimin. Omilla toimillaan valtiovalta voi vaikuttaa myönteisesti näihin neljään strategiseen osaregiimiin ja näin valtio ja talouden koko julkinen sektori edistää kansakunnan kilpailukykyä.

Sosio-tekniisen regiimin toimivuus suhteessa globaaliin kehitykseen ja mikrotason innovaatiotoimintaan on siis keskeinen haaste kansakunnille, jotka osallistuvat globaaliin kansainväliseen vaihdantaan. Tässä osiossa esitämme sellaisia politiikkasuosituksia, jota edistävät suomalaisen yhteiskunnan menestyksellistä toimintaa suhteessa globaaleihin haasteisiin ja mikrotason niche-innovaatiotoimintoihin. AiRo-strategioiden osalta valtiovalta ja eri ministeriöt voivat painottaa eri strategioita. Kun puhutaan Suomen sisäisistä panostuksista, päästrategiat ovat uudelleen orientoituminen trendien pohjalta ja sisäinen uudistuminen. Jos halutaan nojautua pelkästään ulkoisiin resursseihin (ml. suorat ulkomaiset investoinnit Suomeen) strategioiksi jäävät esiintuleva (osaksi hallitsematon muutosprosessi) tai tarkoitushakuinen siirtymä ulkoisin resurssein. Näiden ulkoiseen resursointiin nojaavien vaihtoehtojen strateginen painotus merkitsee tietoista ns. tytäryhtiöstrategian valitsemista Suomelle ja nykyistä merkittävämpää osaamisen myymistä pääomasijoittajille Suomen ulkopuolelle.



*Kuva 12. Siirtymäjohtamisen strategiset vaihtoehdot, siirtymäjohtamisen typologia (Lähde: Berkhout et al. 2004).*

Uudet niche-innovaatiot liittyvät luonnollisesti alueellisiin osaamiskeskittymiin, yritysverkostoihin, itseorganisoituihin organisaatioihin ja Suomen alueelliseen älykkääseen erikoistumiseen. Hyvä sosio-tekniinen regiimi tukee näitä osaamisen kokonaisuuksia ja toimijoita. Toimivan sosio-tekniisen regiimin pohjalta Suomi voi menestyä niin kotimaan markkinoiden kehitystoiminnoissa kuin vientiin tähtäävässä liiketoiminnassa ja muussa kehittämistoiminnassa. Tämä yleisesti käytössä oleva suunnittelumalli voi luoda pohjan menestykselliselle siirtymäjohtamiselle AiRo-teknologia-alueella.



Kuva 13. Sosio-tekniset regiimit uusien innovaatioiden luomisessa (Lähde: Geels 2011).

## 6.2 Suomalaisen yritysten kyvykkyys nykyhetkessä

Suomalaisten pk-yritysten arvioidaan olevan vaikeassa tilanteessa. Kannattavuus on alhainen ja vanhoilla menetelmillä on vaikea saada tuottavuutta aikaan. Yrityksillä on osin ongelmia myös toimintatavan osalta; toiminta ei ole riittävän dynaamista ja joustavaa vastaamaan kansainvälisen kilpailun haasteisiin.

Yritysten kyvykkyysien haasteet voidaan tämän selvityksen perusteella jakaa kolmeen ryhmään:

- 1) Investointikyvykkyys
- 2) Osaamiskuilut
- 3) Liiketoimintamallien ja ansaintalogiikkojen muutospaineet

Suomalaisten pk-yritysten investointikyvykkyys ja -halukkuus osoittaa edelleen hiipumista. Balance Consulting Oy:n tekemän selvityksen mukaan investointiasteet ovat olleet matalia jo kuusi vuotta peräkkäin. Robotiikkainvestoinneissa asia näkyy mm. siten, että uusien robottien asennuksia on vähemmän kuin mitä vanhoja puretaan. Kuitenkin robotiikka ja automaatio ovat erityisesti teollisten pk-yritysten kilpailukyyn ja selviämisen elinehto.

Automaatioalan ja varsinkin konepajojen kehitystä estää automaatio-osaamisen puute. Erityisesti robottien ohjelmointiin erityistehtäviä suorittamaan ei tahdo löytyä osaajia Suomesta. Yritykset ovatkin joutuneet ulkoistamaan toimintoja ulkomaille osaajien puutteen vuoksi. Robotteja on myös vajaakäytössä juuri osaamisen puutteiden vuoksi. Suomalainen ICT-sektorista noussut osaaminen ei sellaisenaan näytä riittävän automaatioalalle, mutta olisi täydennyskoulutuksella kehitettävissä vastaamaan yritysten osaamishaasteita.

Robottien toimittajat ja systeemien integraattorien ansaintalogiikat perustuvat edelleen teollisen aikakauden liiketoimintamalleihin. Aikaisemmin investoinnille voitiin laskea jopa vuosien takaisinmaksuaikoja, mutta nykyisin ajat lasketaan kuukausissa. Ratkaisuna on siirtyminen "automaatio palveluna" -malleihin, joissa ostajayritys ei niinkään osta itse laitetta

vaan sen suorittamaa suoritetta ja palvelua. Uudenlaiset palvelumallit mahdollistavat myös innovatiiviset, molempia osapuolia hyödyttävät, lisäarvopalvelut.

## 7. Poliittikasuositukset

Esitämme seuraavaksi 12 politiikkasuositusta, jotka jokainen kytkeytyvät Suomen edellä esitettyyn sosio-tekni- sen kokonaisregiimin kehittämiseen. Painopiste suosituksissa on *poliittisessa osaregiimissä*, mutta suositukset liittyvät luonnollisesti muihinkin osaregiimeihin. Kaikki esitettävät suositukset pyrkivät edistämään oikean suuntaista public-private-yhteistyötä Suomessa, nopean omaksujan sekä radikaalin innovaattorin positiota. On syytä korostaa, että ilman nopeaa ja ketterää omaksumista ei voida realistisesti odottaa uusien radikaalien, Suomelle suhteellista kilpailuetua tuovien innovaatioiden syntymistä.

**Suositus 1:** Hyvinvointipalveluiden laatu, tehokkuus ja tuottavuus (poliittinen regiimi, sosio-kulttuurinen regiimi)

Tämä Suositus 1 perustuu ajatukseen siitä, että sote-sektorin ongelmia ei voida ratkaista ihmisarvoisesti ja arvokkuutta lisäävästi ilman AiRo-teknologioita ja korkeatasoista palvelurobotisaation osaamista. Palvelurobotiikka olisi järkevä valjastaa ratkaisemaan sote-sektorin suuria ongelmia. Esimerkiksi kirurgiset leikkaukset roboteilla (Minimally Invasive Surgery, MIS) ovat ihmisille turvallisempia ja nopeuttavat potilaan toipumista. Suosittelemme logistiikkaratkaisujen kehittämistä mm. sairaaloissa ja terveyskeskuksissa ja erityisesti raskaiden terveydenhoidon tehtävien sekä rutiinitoimenpiteiden siirtämistä roboteille, jolloin niukat terveydenhuollon resurssit voidaan kohdentaa asiakaslähtöisempään hoitoon. Esitämme, että käynnissä olevaan soteuudistukseen on kytkettävä erityinen AiRo-teknologia-osio, jonka toteutukseen keskitetään maan paras osaaminen. Asian ammattimainen hoitaminen vastuutetaan sosiaali- ja terveysministeriölle.

**Suositus 2:** Teollisuuden laatu, tehokkuus ja tuottavuus (poliittinen regiimi, teknologinen regiimi, tieteen regiimi)

Tämä Suositus 2 perustuu perusajatukseseen siitä, että AiRo-teknologioiden ja innovaatioiden avulla voidaan turvata kotimarkkinoidemme riittävä uudistuminen ja vientivetoinen kasvu. Tämä suositus sisältää myös ajatuksen Suomen "reshoring"-strategiasta eli teollisen tuotannon elvyttämisestä ja palauttamisesta Suomeen. Muita keskeisiä perusteita tälle poliittiselle suositukselle ovat (1) modernin

teollisuuden tulevaisuuden turvaaminen Suomessa, (2) metalli-, konepaja- ja metsäteollisuuden robotiikan kehittäminen entistäkin kilpailukykyisemmäksi, (3) uuden biotalousklusterin robotisointimahdollisuuksien realisointi selvitystyön ja toteutuksen kautta, (4) uusien megateollisuusyksiköiden houkuttelu ja konkreettinen tuominen Suomeen, (5) Suomen aseman palauttaminen teknologian huippumaaksi, (6) jo syntyneiden kansainvälisten kilpailukykyerojen kurominen umpeen, (7) ekotehokkuuden ja ohjelmoitavan kestävyuden lisääminen AiRo-teknologioiden avulla Clean Tech -klusterin menestyksen jatkon takaamiseksi. Tämän osion vastuuministeriönä voi toimia työ- ja elinkeinoministeriö (TEM).

AiRo-teknologiat ovat edellytys tuottavuuden kasvulle. Uskottava AiRo-teknologiaoptio Suomelle mahdollistaa myös yritysten kotoutumisen halpatyövoimamaista. Työ- ja elinkeinoministeriö laatii AiRo-teknologioihin perustuvan uusteollistamis- ja investointiohjelman, jolla Suomi pärjää kilpailussa globaalilla pelikentällä. "Made in Finland" palautetaan uuteen arvoonsa.

**Suositus 3:** Maa- ja metsätalouden laatulisä, tehokkuuslisä ja tuottavuusparannus (poliittinen regiimi, teknologinen regiimi, tieteen regiimi)

Suosittelimme maa- ja metsätalouden kohdennettua AiRo-ohjelmaa, joka tähtää (1) automatisoitujen tuotantoyksiköiden toiminnan kehittämiseen (ml. robotisoidut lypsyjärjestelmät), (2) ohjelmoitavaan kestävyteen maa- ja metsätaloudessa, ja (3) ekosysteempipalveluiden tukemiseen moderneilla AiRo-teknologioilla. Suosittelemme erityisesti robotisoidujen biomateriaalituotantomahdollisuuksien selvittämistä ja toteutusta biotaloustoimialalla. Tällä alueella on iso globaali liiketoimintapotentiaali uusille ekomateriaaleille. Esimerkiksi sellun uudet innovatiiviset ja vaihtoehtoiset käyttökohteet voisivat perustua kilpailukykyiselle AiRo-teknologialle. Tämän osion vastuuministeriönä voivat toimia maa- ja metsätalousministeriö (MMM) ja työ- ja elinkeinoministeriö (TEM).

**Suositus 4:** Luovan talouden ja AiRo-teknologian yhteistyöstrategia (sosio-kulttuurinen regiimi, teknologinen regiimi)

Suosittelimme erityisohjelmaa TEVANAKE-teollisuuden palauttamiseksi omaksi vahvaksi miniklusteriksi Suomessa AiRo-teknologisen huippuosaamisen kautta. Suosittelemme suomalaisen huippudesign -osaamisen yhdistämistä robotisoituun 3D-tuotantoon. Tämän suosituksen perusteella olisi järkevää käynnistää robotiikan industrial/service design -ohjelmien käynnistäminen eri oppi- ja tutkimuslaitoksissa. Ohjelmilla olisi pyrittävä teollisuus- ja palveludesignosaamisen kehittämiseen ottaen huomioon uudet älykkäät AiRo-ratkaisut. Tämän suosituksen toteuttaminen edellyttää uutta luovan taiteen ja teknologian liittoa. Keihäänkärkinä ja demonstraatioprojekteina ehdotamme robotisoidujen taidespektaakkelienvuustuotantoa sekä älykkään arkkitehtuuri- ja rakennustaideoosaamisen kehittämistä. Kehittämisen ja pilotointikohteina voivat olla erityisesti AiRo-kirjastot, AiRo-museot ja matkailua palvelua AiRo-kohteet. Näissä kaikissa kohteissa tulisi kehittää monikulttuurista yhteiskuntaa tukevia robotisoituja kieli- ja logistiikkapalveluita. Kokeilutalouden ajattelumallit tulisi toteuttaa AiRo-strategian yhteydessä mallikkaasti. Tämän osion vastuuministeriönä voivat toimia opetus- ja kulttuuriministeriö (OKM) ja työ- ja elinkeinoministeriö (TEM).

**Suositus 5:** Ammatillisen ja korkeamman asteen koulutuksen laatu ja määrällisen ennakkoinnin päivitys (poliittinen regiimi, sosio-kulttuurinen regiimi, teknologinen regiimi)

Suosittelimme ammatillisen ja korkeamman asteen koulutuksen laadullisen ja määrällisen ennakkoinnin päivitystä huomioiden arvioitua nopeampi AiRo-teknologiakehitys. Kansainväliset tutkimukset (ns. Oxford-tutkimus, Frey & Osborne 2013) ja kansalliset tutkimukset (ns. Suomessa esitetty ETLA-tutkimus, Pajarinen & Rouvinen 2014) antavat perustellun syyn nopeaan ammatillisen ja korkeamman asteen koulutuksen laadullisen ja määrällisen ennakkoinnin päivitykseen. Asiaperusteina tälle suositukselle ovat: (1) Ennaltaehkäisevän työllisyyspolitiikan luominen uuden AiRo-osaamisen kautta, (2) IT – ja digitalisaatio-osaamisen nopea päivitys vastaamaan uusia tulevan AiRo-klusterin tarpeita, (3) osaamisen nopea uudistaminen perus- ja aikuiskoulutuksen kautta vastaamaan uusia ja muuttuvia AiRo-teknologian tarpeita.

Tässä yhteydessä ehdotamme erityistoimenpiteenä teollisuuden pilottikoulutusyksiköiden verkoston perustamista palvelemaan uusia AiRo-teknologioita hyödyntävän megateollisuuden osaamistarpeita Suomessa.

**Suositus 6:** AiRo-painopisteen lisääminen, profiloiminen ja vahva resursointi suomalaisissa innovaatioiden ekosysteemeissä (teknologiregiimi, tieteen regiimi, poliittinen regiimi)

AiRo-teknologiahaaste koskettaa useita eri innovaatioiden ekosysteemejä Suomessa. Siksi AiRo-osaaminen kehittäminen edellyttää AiRo-painopisteen lisäämistä, profiloimista ja resursoinnin vahvistamista suomalaisissa innovaatioiden ekosysteemeissä. Tämä selkeä



regiimimuutos on välttämätön Suomen sosio-tekni- sen regiimin uudistumiselle ja kilpailuky- v- yn parantamiselle. Tarvitaan selkeämpi AiRo-tek- nologioiden näkyvyys Tekesin, Sitran ja Suomen Akatemian tiede-, teknologia ja innovaatiotoiminnassa. Konkreettisina toimenpiteinä suosittelemme (1) uutta strategista ja selkeää AiRo-painotusta suomessa toimivien pk-yritysten toiminnan kehittämisessä, (2) uusia strategisesti määriteltyjä AiRo-professuureja luomaan suuntia uudelle suomalaiselle kansainvälisen tason AiRo-osaamiselle, (3) vuosittain myönnettävää kansallista ja kansainvälistä tieteen ja innovaatiotoiminnan AiRo-palkintoja. Suosittelemme Ruotsin Robotdalen-hankkeessa toteutettua toimivaksi osoittautunutta toimintamallia säännöllisistä pk-sektorin kenttäkyselytutkimuksista, joilla kartoitetaan yritysten akuutin t&k-tarpeet AiRo-tek- nologiakehityksen alalla. Kenttäkyselytutkimusten pohjalta voidaan kohdentaa tarvittavia toimenpiteitä pk-yrityksissä. Tätä tehtävää voisi koordinoi- da työ- ja elinkeinoministeriö alueellisine verkostoineen ja yksikköineen.

**Suositus 7:** Kansallisesti ja kansainvälisesti verkottunut AiRo Island -kansainvälistysohjelma (poliittinen regiimi, teknologinen regiimi, tieteen regiimi)

Ruotsin Vesteråsissa toimiva Robotdalen-innovaatiokeskus ([www.robotdalen.se](http://www.robotdalen.se)) on eräs Euroopan unioninkin esille nostama kärkikehityshanke AiRo-tek- nologioiden alalla Euroopassa. Suomen oma AiRo Island -hanke pyrkii laadullisesti samantasoiseen ja eräillä strategisilla alueilla korkeatasoisempaan toimintamalliin. Tämän innovatiivisen ja verkosto-osaamista hyödyntävän hankkeen strategi- atyön resursointi ja edelleen kehittäminen on suositeltavaa. AiRo Islandin tavoitteita ovat:

1. Euroopan Robottiviikkoon ja muihin AiRo-alan tapahtumiin osallistuminen korkealla suomalaisella profiililla.
2. Merkittävän vuosittaisen kansainvälisen AiRoBot-investointitapahtuman toteuttaminen, ensimmäinen jo keväällä 2015.
3. Uusien ajankohtaisten tutkimusteemojen ja -haasteiden esiin nosto.
4. Kansainvälinen AiRo Island -konferenssi, tähtäimenä kansainvälinen symposiumi vuonna 2017 (liittyen Suomen itsenäisyyden 100-vuotisjuhlavuoteen).
5. Suomea positiivisesti profiloiva International Robotics -kisa AiRo-alalla (esim. kehitysvammaisten soveltuvat robo-sovellutukset).
6. AiRo-alan startup-yritysten tuotekehityksen ja markkinoinnin edistäminen.
7. Yrityksiä ja oppilaitoksia palvelevan AiRo + IoT -oppimisympäristön kehittäminen.
8. Alan innovaatioiden ekosysteemin ja verkostojen kehittäminen.

Helsingissä toimiva AiRo Island palvelee AiRo-alan vientiponnisteluja, ulkomaisten suorien investointien houkuttelua Suomeen ja kotimarkkinoiden uudistumista AiRo-tek- nologiakehityksen alalla. Se toimii valtakunnallisen AiRo-yhteistyön edistäjänä.

**Suositus 8:** AiRo-3D-skannaamisen ja tulostamisen osaamiskeskuksen perustaminen Suomeen vuonna 2015 (teknologinen regiimi, poliittinen regiimi)

Suositlemme, että Suomessa otetaan selkeästi huomioon 3-D-tulostamisen mahdollisuudet uudistaa teollista toimintaa linkittyneenä uuteen palvelutalouden joustavaan toimintamalliin. Suosittelemme AiRo-3D-skannaamisen ja printtaamisen osaamiskeskuksen perustamista Suomeen vuonna 2015. Tässä osaamiskeskuksessa voitaisiin keskittyä avoimen digitaalisen 3D- kirjaston luomiseen, merkittävien museo- ja näyttelyesineiden digitalisointiin 3D- skannaamalla ja kansallisen virtuaalimuseon perustamiseen. Tämä osaamiskeskus voisi keskittyä "vintage/historia"- ja "science fiction/tulevaisuus" -teemaiseen esineiden ja uusien ideoiden skannaamiseen. Tämän kansainvälisesti profiloituvan osaamiskeskuksen yhteydessä voisi toimia digitaalinen tulevaisuuseumo, joka voisi toimia Suomen luovan talouden keihäänkärkihankkeena ja palvelisi myös digitaalisen ja luovan talouden osaamisen kehittämistä.



**Suositus 9:** Jatkuvan AiRo-teknologioiden benchmarking-ohjelman käynnistäminen (teknologinen regiimi, tieteen regiimi, poliittinen regiimi)

Kansainvälinen teknologiakehitys tulee kaikkien saatavilla olevien teknologiaennakointitutkimusten mukaan olemaan erittäin nopeaa ja yllätyksellistä AiRo-teknologiakehityksen eri osa-alueilla. Emme voi poissulkea häiritsevien teknologia-aaltojen mahdollisuutta. Ehdotamme jatkuvan AiRo-teknologioiden benchmarking-ohjelman käynnistämistä Suomessa. Tavoitteena tässä hankkeessa on huipputasoisien Business Intelligence -osaamisen luominen ja kehittäminen AiRo-teknologioiden alueelle Suomeen. Älykäs erikoistuminen ja ketterä julkistalous Suomessa edellyttää ajantasaista tietoa siitä, mitä kansainvälisessä kehityksessä on oikeasti tapahtumassa. Hankkeessa syntynyttä tietoa voidaan hyödyntää, kun eri teknologioita pilotoidaan Suomessa tai mahdollisia akuutteja teknologiasiirtotarpeita arvioidaan. Tämä hanke edesauttaa Suomen kykyä toimia nopeana ja ketteränä omaksujana AiRo-teknologiakehityksessä. Hanke edistäisi myös älykästä alueellista erikoistumista. Tavoitteena tulisi olla kehityksen kärkirintamassa pysyminen sekä uusien kehityshaasteiden realistinen asettaminen nopean kansainvälisen kehityksen pohjalta. Tämä hanke voisi perustua verkostomaiseen yhteistyöhön yritysten, tutkimus- ja oppilaitosten sekä ministeriöiden välillä. Hankkeessa voisi työ- ja elinkeinoministeriö (TEM) toimia käynnistäjänä, mutta tehtävien jakoa tulisi tapahtua älykkäästi pk-yritysten, tutkimus- ja oppilaitosten sekä aluekehittämisestä vastaavien tahojen välillä.

Osana tätä benchmarking-ohjelmaa tulisi valtioneuvoston säätää suomalaisten julkisen innovaatioekosysteemin keskeisten toimijoiden (VTT, Sitra, Suomen Akatemia, Tekes, ministeriöt, valtioneuvoston ennakointiverkoston jäsenet, kaupungit, kunnat jne.) avoin julkinen (esim. blogit) perustelu-, raportointi- ja tiedonvälitysvuorokausuus AiRo-teknologian kehitykseen liittyvistä keskeisistä asioista, mm. seminaari- ym. virkamatkoista. Tätä AiRo-benchmarking-ohjelmaa voisi koordinoida työ- ja elinkeinoministeriö, joka velvoitettaisiin tekemään vuosiyhteenvedot kansallisesta AiRo-teknologioiden benchmarking-ohjelmasta ja levittämään nämä tiedot pk-yrityksille. Mallia tähän benchmarking/Bi-ohjelmaan tulisi ottaa mm. Japanista, Etelä-Koreasta, Taiwanista ja erityisesti Ison-Britannian Horizon Scanning -ohjelmista.

**Suositus 10:** Yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen yhteistyön tiivistäminen AiRo-tutkimuksessa

Suosittelimme yliopistojen ja ammattikorkeakoulujen yhteistyön lisäämistä AiRo-teknologisen, AiRo-ekonomisen ja AiRo-teemaisen sosiologisen tutkimuksen alueilla ja niitä koskevissa t&k-toiminnoissa. Suosittelemme yliopistojen ja AMK-verkoston yhteistyötapahtumaa tehokkaan tutkimustiedon jakamisen takaamiseksi ja vuorovaikutuksen lisäämiseksi teemana ”keinoälyn ja robottien yö”.

**Suositus 11:** Ohjelmoitavan kestävä kehityksen t&k-ohjelman käynnistäminen (politiikan regiimi, tieteen regiimi, teknologinen regiimi)

Suosittelimme ohjelmoitavan kestävä kehityksen t&k-ohjelman käynnistämistä ympäristöministeriön koordinoimana ja Tekesin taloudellisesti resursoimana. Tässä hankkeessa keskeisiä tavoitteita ovat (1) globaalien kestävä kehityksen Big datan (massadatan ja indikaattoritietokantojen) älykäs haltuunotto ja hyödyntäminen kansallisessa ja kansainvälisessä ympäristöpolitiikassa (ml. ilmastopolitiikka), (2) kestävä kehityksen toiminnan robotisoinnin ja keinoälyn hyödyntämisen mahdollisuuksien kartoitus ja toteutus, (3) clean tech -liiketoiminta-alueen liiketoimintamahdollisuuksien lisääminen AiRo-teknologioiden avulla ja (4) AiRo Clean Tech -liiketoimintamahdollisuuksien parempi ymmärtäminen. Erityisinä kohdealueina tässä ohjelmoitavan kestävä kehityksen AiRo-t&k-ohjelmassa tulisi olla uusiutuva energiatuotanto sekä erityisesti älykkäät tuuli- ja aurinkoenergiaratkaisut.

**Suositus 12:** Älykäs julkinen hallinto-ohjelma (politiikan regiimi, teknologinen regiimi, tieteen regiimi)

Suosittellemme valtioneuvoston AiRo-budjetointi- ja päätöksentekojärjestelmän pilotointihankkeen toteuttamista valtioneuvostossa ja kaikissa linjaministeriöissä. Jokaiselle ministerille tulisi tuottaa räätälöity AiRo-sovellutus tehostamaan ministeriöiden

kokonaistyöskentelyä yli hallituskausien ulottuvassa siirtymäjohtamismallissa. Tämän hankkeen tavoitteena olisi kehittää tehokas työkalu Suomen byrokratiatalkoisiin ja vähentää liian jyrkkiä sektorirajoja julkisessa

AiRo-teknologioilla voidaan tuottaa uusia tehokkaita ratkaisuja, jotka osaltaan vähentävät merkittävästi syntynyttä kestävyysvajetta.

hallinnossa. Hankkeen tulisi palvella myös kestävyysvajeongelman suunniteltua ja älykästä ratkaisua. Valtion investointien suunnittelussa ja toteutuksessa tulisi käynnistää älykäs portfoliosuunnittelumallin ja arvioinnin kehittäminen. Pilottihankkeessa tulisi tuottaa ensimmäiset kansalaisia palvelevat käytännön sovellutukset AiRo-juristien ja kansalaisten joustavien tukipalveluiden tuominen Suomen oikeusjärjestelmään. Uusien lakien ja säädösten valmistelutyöstä tulisi allokoida 80% AiRo-sovellutuksille ja raportoinnista 90%. AiRo-raportointi tulisi ottaa vakiintuneeksi osaksi oikeuslaitoksen, komitealaitoksen, budjettihallinnon ja julkisten investointien suunnittelu- ja arviointitoimintaa. Tätä pilottitehtävää voisi koordinoida valtiovarainministeriö yhdessä työ- ja elinkeinoministeriön kanssa.

Tässä ohjelmassa tulisi myös laatia Suomelta kansallinen aloite EU:n byrokratian karsimiseksi modernien AiRo-teknologioiden avulla. Näillä konkreettisilla toimenpiteillä Suomen asema tietoyhteiskunnan eurooppalaisena kärkimaana voitaisiin uskottavalla tavalla saavuttaa Euroopassa.

### **Aika toimia!**

**Euroopan Unioni, Yhdysvallat ja Kiina ovat laatineet muiden joukossa omat AiRo-strategiansa. Hallituksen tulee toimia pikaisesti vastaavan ja kestäväan kehitykseen perustuvan, tuloshakuisen strategisen ohjelman laatimiseksi Suomeen.**

## Lähteet

Berkhout, F., Smith, A., Stirling, A., 2004. Socio-technological regimes and transition contexts. In: Elzen, B., Geels, F.W., Green, K. (Eds.), *System Innovation and the Transition to Sustainability: Theory, Evidence and Policy*. Edward Elgar, Cheltenham, 48–75.

Chibani, Abdelghani, Amirat, Yacine, Mohammed, Samer, Matson, Eric, Hagita, Norihiro & Barreto, Marcos (2013) Ubiquitous robotics: Recent challenges and future trends. *Robotics and Autonomous Systems*, Volume 61, Issue 11, November 2013, 1162–1172.

European Robotics Research Network, EURON (2004) Key Area 1 on "Research Coordination" – KA1. Robotics. Roadmap diagram, s. 60. Verkkosivu: <http://www.org.id.tue.nl/IFIP-SG16/robotics-roadmap-2004.pdf>

Frey, Carl Benedikt & Michael Osborne, Michael (2013) *The Future of Employment: How Susceptible Are Jobs To Computerisation?* Oxford Martin School. Oxford. Verkkosivu: [http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The\\_Future\\_of\\_Employment.pdf](http://www.oxfordmartin.ox.ac.uk/downloads/academic/The_Future_of_Employment.pdf)

Geels, Frank W. (2011) The multi-level perspective on sustainability transitions: Responses to seven criticisms. *Environmental Innovation and Societal Transitions*. Volume 1, Issue 1, June 2011, 24–40.

Grieco, L.A., Rizzo, A., Colucci, S., Sicari, S., Piro, G., Di Paola, D. & Boggia, G. (2014) IoT-aided robotics applications: Technological implications, target domains and open issues. *Computer Communications*, Volume 54, 1 December 2014, 32–47.

Haidegger, Tamás, Barreto, Marcos, Gonçalves, Paulo, Habib, Maki K., Ragavan, Sampath Kumar Veera, Li, Howard, Vaccarella, Alberto, Perrone, Roberta & Prestes, Edson (2013) Applied ontologies and standards for service robots. *Robotics and Autonomous Systems*, Volume 61, Issue 11, November 2013, 1215–1223.

Ingrand, Félix & Ghallab, Malik (2015) Deliberation for autonomous robots: A survey. *Artificial Intelligence*, In Press, Corrected Proof, Available online 28 November 2014.

Kern, Florian (2012) Using the multi-level perspective on socio-technical transitions to assess innovation policy. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 79, Issue 2, February 2012, 298–310.

Kostoff, Ronald N., Boylan, Robert & Simons, Gene R. (2004) Disruptive technology roadmaps. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 71, Issues 1–2, January–February 2004, 141–159.

Lee, Jung Hoon, Phaal, Robert & Lee, Sang-Ho (2013) An integrated service-device-technology roadmap for smart city development. *Technological Forecasting and Social Change*, Volume 80, Issue 2, February 2013, 286–306.

McKinsey Global Institute (2013) *Disruptive Technologies: Advances That Will Transform Life, Business, and the Global Economy*. May 2013. McKinsey & Company.

Pajarinen, Mika & Rouvinen, Petri (2014) Computerization Threatens One Third of Finnish Employment. ETLA Brief No 22. <http://pub.etla.fi/ETLA-Muistio-Brief-22.pdf>

Pine II, B. James, Korn, Kim C. (2011) *Infinite Possibility. Creating Customer Value on the Digital Frontier*. Barrett-Koehler Publishers: San Francisco.

Stenmark, Maj. & Malec, Jacek (2015) Knowledge-based instruction of manipulation tasks for industrial robotics. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing, In Press, Corrected Proof, Available online 6 September 2014. Julkaistavana.

TechCast (2014) Technology Forecasts. December 2014. Verkkosivut:  
<https://www.techcastglobal.com/documents/10193/0/Tech+Forecasts/0a4363df-2287-4da1-821e-05d9ec984c42>

Teece, David (2007) Explicating dynamic capabilities: the nature and microfoundations of (sustainable) enterprise performance. Strategic Management Journal. Volume 28, Issue 13, 1319–1350.

Yasunga, Yoko, Watanabe, Masayoshi & Korenga, Motoki (2009) Application of technology roadmaps to governmental innovation policy for promoting technology governance. Technological Forecasting and Social Change. Volume 76, Issue 1, January 2009, 61-79.

Wikipedia (2014) Robotiikan kolme pääsääntöä. Verkkosivut:  
[http://fi.wikipedia.org/wiki/Robotiikan\\_kolme\\_p%C3%A4%C3%A4s%C3%A4nt%C3%B6%C3%A4](http://fi.wikipedia.org/wiki/Robotiikan_kolme_p%C3%A4%C3%A4s%C3%A4nt%C3%B6%C3%A4)

MetalliPro-lehti 3/2014. Robotilla tuotanto joustavaksi

Kauppalehti 8.1.2015 Yrittäjä: Nyt ponnistetaan ylös  
<http://www.kauppalehti.fi/uutiset/yrittaja-nyt-ponnistetaan-ylös/uU4B3qcX>

Doz, Yves & Kosonen, Mikko (2014) Governments for the Future: Building the Strategic and Agile State. August 18, 2014. Sitra Studies 80. SITRA. Helsinki.

### **Kiitämme raportin sisällön laatimisessa auttaneita yrityksiä:**

ABB  
 Wärtsilä  
 Microteam Oy  
 Hermia Group  
 Prizztech Oy ja Ulvilan seudun automaatioyritykset  
 Cimcorp Oy  
 Rovio Oy  
 Coautomation Oy  
 Fastems Oy  
 Satakunnan ammattikorkeakoulu  
 Vaasan ammattikorkeakoulu  
 Eera Oy  
 Digile Oy  
 Procompetence Oy

# Digitaalinen tietopohja sekä robotisaation vaikutukset

Risto Linturi ja Ossi Kuittinen

## 1. Johdanto

Tämä asiantuntijaselvitys on kirjoitettu Liikenne- ja viestintäministeriön sekä Työ- ja elinkeinoministeriön toimeksiannosta osana Liikenteen robotisaation strategia- ja toimenpideohjelmia. Selvityksessä tarkastellaan robotisaation ja sen eri osa-alueiden vaikutuksia yhteiskuntaan ja muutospaineita sen moniin rakenteisiin. Selvityksessä paneudutaan myös vaikutuksiltaan positiivisen robotisaatiokehityksen edellyttämän digitaalisen tietopohjan luonteeseen ja synnyttämiseen sekä robotisaatioon liittyvän digitaalisen tietopohjan katalysointiin. Selvitys on joukkoistettu useissa Facebookin asiantuntijaryhmissä ja erityinen kiitos raportin sisältöön vaikuttaneista kommentteista lähdeviitteiden yhteydessä mainituille.

## 2. Robotisaation yleiset trendit ja yhteiskunnalliset vaikutukset

**Robotisaation määritelmä (tässä selvityksessä):** Robotisaatiolla tarkoitetaan reaali maailman kanssa vuorovaikutuksessa olevia automaatiojärjestelmiä, joita ei käytetä saman työsuorituksen toistamiseen, vaan joilla on ainakin osin autonominen kyky monien erilaisten vaikkakaan ei välttämättä erityyppisten tehtävien suorittamiseen.

Robotisaatio nähdään siis tässä osana automaatiokehitystä, mutta ei sen synonyyminä. Robotisaatiosta poikkeavasta, työsuorituksen toistuvuuteen perustuvasta automaatiosta puhutaan tässä selvityksessä perinteisenä automaationa.

**Digitaalisen tietopohjan määritelmä (tässä selvityksessä):** Digitaalisella tietopohjalla tarkoitetaan tässä raportissa sellaisia koneluettavassa muodossa olevia tietoja ja algoritmeja, joita koneet käyttävät hyväkseen suorittaessa niille määriteltyjä tehtäviä. Digitaalisen tietopohjan infrastruktuurilla tarkoitetaan kaikkia niitä tietoteknisiä keinoja ja alustoja, joiden avulla mainittu digitaalinen tietopohja kerätään ja saatetaan koneiden ymmärtämään muotoon ja niiden luettavaksi.

Määritelmän mukaan esimerkiksi digitaalinen kartta-aineisto on osa digitaalista tietopohjaa, mikäli koneet voivat toimia robotisaatio-määrittelyn mukaisesti sen tietojen perusteella. Kaikki digitaalisessa muodossa oleva aineisto ei siis kuulu digitaaliseen tietopohjaan.

Robotisaatio etenee yleisen talouden tehostamistarpeen lisäksi neljän teknologisen kehityskulun kautta. Robotisaatiota edistää sekä anturiteknologian, mekatroniikan, näihin liittyvien algoritmien että digitaalisen tietopohjan nopea kehitys. Kehityksen nopeus on johtanut ennusteisiin siitä, että robotit ja keinoäly tekisivät suuren osan nykyisistä työtehtävistä tarpeettomiksi jo lähitulevaisuudessa. (TEM 2014)

Uusien työtehtävien syntyminen ilman laajaa rakennemuutosta ja uutta osaamista osoittautunee nykyisellä hyvinvoinnin tasolla mahdottomaksi ja haaste uusien osaamisten ja uusia työtehtäviä tukevien rakenteiden luomiseksi tulee olemaan suuri.

On selvä, että nykyisten työtehtävien automatisointi parantaa henkilötöiden tuottavuutta ja vähentää työvoiman tarvetta niissä työtehtävissä, mikäli kysyntä ei kasva vastaavasti. Usein markkina on rajallinen ja kysyntä kasvaa pääosin vain uusiin suuntiin. On tärkeä ymmärtää, että työ itsessään ei voi loppua siihen, että saamme käyttöömmme parempia työvälineitä, jos ihmisillä on tyydyttämättömiä tarpeita jäljellä. Kohtuulliset ansiot takaava työ voi kuitenkin loppua siksi, ettei työtä tehostavia työkaluja ole riittävästi kaikille tai siksi, ettei osaamista uusien lisäarvojen synnyttämiseen ole eikä erikoistumisen ja vaihdannan mekanismi tavoita kaikkia. Työn loppumisen uhka johtuukin rakenteiden jäykkyydestä, ei itse robotisaatiosta.

*Taulukko: Robotisaatiolla useita perinteisestä automaatiosta poikkeavia vaikutuksia.*

PER. AUTOMAATION VAIKUTUS	ROBOTISAATION VAIKUTUS
▣ suuruuden ekonomia	▣ tehokas hajautus
▣ keskitetty suunnittelu	▣ itseorganisoituvuus
▣ globaali erikoistuminen	▣ paikallinen varianssi
▣ työn eriarvoistuminen	▣ työn tasa-arvoistuminen
▣ kasvu määrällistä	▣ kasvu laadullista
▣ työt erikoistuneita ja mekanistisia	▣ työt kokonaisvaltaisia ja merkityskeskisiä
▣ palkkatyövaltaisuus	▣ uudet työn muodot
▣ vientivetoisuus	▣ kotimarkkinavetoisuus
▣ pääomavaltuus	▣ ihmiskeskeinen talous
▣ markkinointikeskeisyys	▣ tarvelähtöisyys
▣ markkinatalous	▣ verkostotalous
Robotisaatiolla monia vastakkaisia vaikutuksia perinteiseen automaatioon nähden	
Linturi, Kuittinen 2015	

Lisätessään automaatioon monipuolisuutta robotisaatio vähentää automaattisesti suuruuden ekonomiaa. Sen sijaan, että tehtäisiin miljoonittain jotakin tiettyä tuotetta huippuautomatisoidussa tehtaassa ja laivattaisiin ne konteissa suuriin marketteihin, voi pieni robotisoitu tuotantolinja tehdä joukon erilaisia tuotteita paikallisesti jaeltavaksi. Robotisoitu jakelu toisaalta sivuuttaa suuret marketit. Yksilöllisesti tuotetut tavarat kulkevat valmistajalta kuluttajalle tehokkaasti. Robotisaatio vähentää tarvetta rahdata ja varastoida samaa tavaraa suurissa erissä. Hakukonemarkkinointi ja sosiaalinen media tukevat tätä kehitystä.

Paikallisen markkinoita lähellä olevan ja yksilöllisen pientuotannon merkitys kasvaa suuruuden ekonomian vähetessä. Koneiden joustavuus vähentää investointien riskejä. Varastointi-, logistiikka- ja markkinointikustannusten väheneminen aiheuttaa säästöjä. Tuotantolinjan monipuolisuus ja pientuotanto itsessään toisaalta kasvattavat tuotannon henkilövaltaisuutta. Entistä suurempi osa työstä tulee tämän vuoksi liittymään laitteiden käyttöön sekä asiakaspalveluun perinteiseen automatisoituun teollisuuteen verrattuna.

Robotisaatio mahdollistaa tuotannon, palveluiden sekä asiantuntemuksen ulottamisen kaikkialle maantieteestä riippumatta. Kun perinteinen automaatio on tuottanut lisäarvoa

ennenkaikkea parantamalla tuotannon määrällistä tehokkuutta suhteessa henkilötyöhön, tarjoaa robotisaatio käyttäjillensä mahdollisuuden tuottaa paikallisille asiakkaille aitoa yksilöllistä ja laadullista lisäarvoa. Tämä kasvattaisi työmarkkinoita tavalla, jossa kysynnällä ei periaatteessa ole ylärajaa, ja jonka ei henkilötyön lisäksi kuormita muita resursseja. Tuottavuuden ja hyvinvoinnin kasvu sekä kestävä kehitys voidaan saavuttaa samanaikaisesti.

Robotisaatio parantaa ihmisen mahdollisuuksia tuottaa itse itselleen tarvitsemiaan tavaroita ja palveluita. Hyvinvointi on perinteisesti lisääntynyt erikoistumisen ja vaihdannan kasvatettua tuottavuutta ja jakokelpoista vaurautta Adam Smithin osoittamalla tavalla. Robotisaation avulla työkaluistamme tulee yhä älykkäämpiä eikä erikoistumiselle ole niin suurta tarvetta. Robotti voi lukea verkosta ohjeet ja tehdä täysin uuden asian. Koska ansiotyö on perustunut erikoistumiseen ja vaihdantaan, voi ansiotyön osuus suhteessa kotitaloustyöhön tulevaisuudessa vähetä hyvinvoinnin siitä kärsimättä.

Suuruuden ekonomian lisääntyessä perinteisen automaation kautta, ovat myös tuloerot kasvaneet hierarkioiden eri portaissa. Robotisaatio mahdollistaa hajautetun tuotannon, jonka pääomaintensiivisyys ei ole suuri. Tämä aiheuttaa monien suurten hierarkioiden purkautumisen ja tasaa todennäköisesti tuloeroja, ellei niitä keinotekoisin säädöksiin pidetä yllä. Robotisaatio toisaalta mahdollistaa kaupan ja palvelutuotannon keskittymistä ja vaikutukset tuloerojen kehitykseen eivät ole aivan näin yksinkertaisesti perusteltavissa.

Työhön halukkaiden ja siihen kykenevien täydellinen syrjäytyminen tuottavuustyökaluista ja ansainnasta nykyisen työttömyyden tavoin vaikuttaa robotisaation seurauksena tulevaisuudessa nykyistä epätodennäköisemmältä. Tuottavuustyökalut tulevat olemaan nykyistä helpommin työhön halukkaiden saavutettavissa sellaisissakin tehtävissä, jotka eivät vaadi akateemista koulutusta. Kyse ei välttämättä ole palkkatyöstä, mutta erikoistumisen ja vaihdannan synnyttämän ansainnan piiriin kisälliajan tyyppisin rakentein on tulevaisuudessa nykyistä helpompi päästä, kun monista palveluista ja valmistuksesta katoaa suuruuden ekonomia. Ilmiö on jo tapahtunut monissa osaamista vaativissa informaatio-alan tehtävissä.

Kyvyyssään käsitellä tehokkaasti yhä moninaistuvaa asiamäärää, robotisaatio vahvistaa vaihtoehtojen runsautta, niin kutsuttua "long tail"-ilmiötä. Erikoistuminen lisääntyy paikallisen suunnan lisäksi myös globaalisti ja saatavilla on yhä monipuolistuva joukko tavaroita ja palveluita. Tämä muuttanee edelleen arvomaailmaa orgaanisen solidaarisuuden ja kasvavan suvaitsevaisuuden suuntaan (Durkheim), elleivät esimerkiksi kriisit tai valtarakenteet muuhun tilapäisesti johda. Tuotteiden ja palveluiden kasvava monimuotoisuus samalla vähentää Adam Smithin määrittelemän markkinatalouden voimaa ja kasvattaa sosiaaliseen pääomaan liittyvän verkostotalouden merkitystä (Zuboff). Ristiriita markkinatalouden tyyppillisten mekanismien ja verkostotalouden mekanismien välillä johtaa kasvaviin paineisiin nykyistä markkinatalouden sääntelyä kohtaan.

Kansainvälinen työnjako muuttuu robotisaation lisätessä paikallisen valmistuksen osuutta. Yhä suurempi osa fyysisistä tuotteista valmistetaan paikallisesti ja kansainväliseen vaihdantaan jää aineeton omaisuus, joka saattaa keskittyä, mutta jonka valvonta muuttuu yhä vaikeammaksi tuotannon hajautuessa jopa kotitalouksiin asti. Aineeton omaisuus voi robotisaation myötä kasautua, mikäli se on omiaan Facebookin ja Googlen palveluiden tavoin konsolidoimaan käyttäjien palveluun antamia tietoja. Aineeton omaisuus saattaa toisaalta menettää helposti arvonsa, mikäli se on altis kilpailulle tai vaikeasti valvottavissa. Lienee perusteltua vetää se johtopäätös, että arvonaluonti robotisaation vuoksi kasvaa jatkossa selvästi nopeammin paikallisilla markkinoilla kuin kansainvälisessä kaupassa.

Tuotannon hajautuminen, uusiutuva energia ja robotisaatio johtavat tilanteeseen, jossa monet laitteet ovat nykyisten henkilöautojen ja kotitalouskoneiden sekä useimpien rakennusten tavoin merkittävän osan ajasta käyttämättä. Tuotantokoneiden helppo saatavuus, robotisoitujen välineiden käytön helppous ja mahdollisesti alhainen raaka-ainekustannus

johtavat hyvin alhaisiin muuttuviin kustannuksiin. Alhaiset tai jopa lähes olemattomat muuttuvat kustannukset yhdistettynä tuotantovälineiden laajaan saatavuuteen ja yksinkertaiseen käyttöön johtavat jakamistalouteen (Rifkin). Tämä näkyy yhtäältä esimerkiksi mainosrahoitteisina tai edullisina palveluina ja toisaalta yhteisöllisyyden kasvuna.

Robotisaatio edellyttää laajaa yhteistä digitaalista tietopohjaa koneiden ohjaamiseksi. Tämä voi kehittyä kaupallisina palveluina. Toisaalta se voi kehittyä talkoohenkisesti joukkoistamalla tai kansallisesti standardoinnin ja avoimen datan periaatteiden mukaan. Linuxin ja Wikipedian esimerkit osoittavat, että hyvinkin laajoja kokonaisuuksia voi syntyä social commons -periaatteella. On odotettavissa, että robotisaation edetessä sekä verovaroin, mainostuloin että joukkoistamalla ja talkootyönä rahoitettu digitaalinen tietopohja nousee hyvin selkeäksi haastajaksi maksulliselle robotisaation tarvitsemalle sisällölle. Tämä on omiaan vähentämään aineettoman omaisuuden taloudellista arvoa, lisäämään arvonluonnin fyysistä ja paikallista sekä yksilöllistä osuutta sekä kasvattamaan jakamistalouden merkitystä.

Muutokset talouden rakenteisiin ja osaamistarpeisiin tulevat robotisaation edetessä olemaan suuria. Teollisuus omaksuu teollisen internetin käytänteitä ja hakee reittiä kaupan ohi suoraan asiakkaisiin. Toisaalta osa teollisuuden tehtävistä siirtyy kaupan ja palveluiden piiriin. Fyysisistä palveluista kasvava osa perustuu etäohjaukseen ja etäläsnäoloon tai autonomiseen robotiikkaan. Toimialakohtaiset muutokset voivat olla dramaattisen suuria. Lähtilöjen herkut voidaan esimerkiksi tilata juhlapöytään Suomessakin Amazonin palvelun kautta Uberin välittäessä kuljetustehtävän paikallisille joutilaille autoilijoille tai roboteille.

### 3. Robotisaation teknologiset perusteet

Robotiikkaa pidetään osana mekatroniikkaa, jossa yhdistyvät fyysiseen ympäristöön vaikuttavat toimilaitteet, fyysistä ympäristöä havainnoivat anturit ja näitä älykkääksi toiminnalliseksi kokonaisuudeksi integroiva elektroniikka sekä ohjelmistolliset algoritmit ja toimintaympäristöä tai tavoitteita kuvaava digitaalinen tietopohja.

Toimilaitteista tärkeimpinä voidaan pitää mekaanista voimaa tuottavia moottoreita. Sekä harjattomien moottoreiden että pienten askelmoottorien hinta ja laatu ovat kehittyneet erityisen suotuisasti valmistusmäärien nopean kasvun vuoksi. Kumpiakin saa ohjaimineen edullisimmillaan muutaman euron kappalehintaan. Mekaniikan suunnittelu on nopeutunut 3D-tulostinten yleistyttyä. Tutkija- ja harrastajapiireissä kehitetyt konstruktiot leviävät tehokkaasti vapaasti jaossa olevien 3D-mallikirjastojen kautta. Leonardo da Vincin perinteistä ammentava uusi tieteenala, luonnon matkiminen eli biomimetikka vauhdittaa kehitystä. Konkreettisena esimerkkinä tästä ovat lintujen ja hyönteisten lentotapaa matkivat laitteet.

Materiaalitekniikan ja erityisesti metamateriaalien kehityksen myötä on odotettavissa toimilaitteissa merkittäviä parannuksia. Lupaavia ovat esimerkiksi lihasten tavoin ohjattavat, muotoaan muuttavat muistimateriaalit, erotustekniikkaa tehostavat suodattimet, pietsosähköiset uudet materiaalit, lujat, erittäin kevyet materiaalit, kitkattomat tai itseään korjaavat pinnat, antibakteeriset ja likaa hylkivät pinnat, 3D-tulostetut metamateriaalit sekä akkuteknologian, suurtehoakustattoreiden, näyttölaitteiden, pienten hiukkaskiihdyttimien ja optisesti aktiivisten pintojen uudet toiminnallisuudet. (Linturi, Kuusi, Ahlqvist, 2013) Läpimurtoja on lupa odottaa, koska kertyneen tieteellisen tiedon määrän arvioidaan enemmän kuin kaksinkertaistuvan nykyisestä 2020-luvun loppuun mennessä.

Materiaalitekniikan kehitys vaikuttaa merkittävästi mekaniikan lisäksi myös antureiden kehitykseen. Ihmisen sormia tarkemman keinoihon merkitys tulee olemaan suuri. Optisten materiaaleja ja muotoja tunnistavien laser- ja spektroskopiakoneiden miniatyrisointi ja siirtyminen yhä suurempiin taajuuksiin avaavat nekin robotiikalle täysin uusia alueita. Linssittömät kamerat, halpa lasertutka eli lidar ja stereokameroiden kehitys edistävät useita robotiikan toiminnallisuuksia radikaalisti. Molekyylirakenteita ja koostumuksia kaasuista ja



nesteistä tunnistavat biosirut ovat muuttumassa niin pieniksi ja edullisiksi, että niitä voi sijoittaa hyvin laajasti sekä rakennettuun ympäristöön, luontoon että toimilaitteisiin ja prosesseihin. Radioteknologian miniatyrisointi nano- tai mikromittakaavaan sekä anturin energian kerääminen ympäristöstä mahdollistavat langattoman viestinnän jopa verisuonistossa kulkeville laitteille. Toisaalta 3D-tulostus kehittyy tavalla, joka mahdollistaa johtimien ja osin antureidenkin yksinkertaisen tulostamisen kappaleisiin niiden valmistuksen yhteydessä. Antureiden laajenevaa käyttöä helpottavat myös robotisoituva kokoonpano sekä robottien liikkuvuuden jatkuva kehittyminen, jonka avulla robotit voivat siirtää antureita haluttuihin paikkoihin kehon sisällä, rakennetussa ympäristössä tai luonnossa.

Robottiikalle on ollut tyypillistä, että kukin robotti suunnitellaan mekaniikaltaan ja elektroniikaltaan yksilöllisesti. Tämän seurauksena myös robottien ohjelmistot on jouduttu suunnittelemaan robottikohtaisesti. Yhä useammin robotit kootaan moduuleista. Robotin keskeisinä aisteina ja ohjausyksikkönä saatetaan esimerkiksi käyttää älypuhelinia. Roboteissa käytetään valmista ohjausyksikköä, siihen saatavilla olevia ohjelmistorajapintoja, älykkäitä antureita ja toimilaitteita. Useimpia nelikoptereita ja 3D-tulostimia esimerkiksi ohjaa rajapinnoiltaan ja ohjelmointivälineiltään keskenään yhteensopiva Arduino -niminen kehitysvälineineen avoimeen lähdekoodiin perustuva elektroniikka.

Vakioitujen ja moduulirakenteisten alustojen suosio on vauhdittanut olennaisesti sekä robotiikan kehitystä että erilaisten sovellusten, pilvipalveluiden ja algoritmien kirjastojen syntyä, kertymistä ja käyttömahdollisuuksia. Ennakoitavissa on, että moduulirakenteisuus jatkaa kehitystään. Robottien aisteihin ja tilannekäsitykseen sekä toimilaitteisiin ja liikkumiseen liittyviä moduuleja voidaan jatkossa yhä helpommin yhdistellä toisiinsa. Tulevaisuuden robotit lataavatkin itselleen uusia taitoja verkosta nykyisten älypuhelinien tavoin tai jakavat kokemuksia ja taitoja robottien sosiaalisessa mediassa. Näihin ominaisuuksiin liittyviä rajapintoja on kehitteillä. Vakioitujen alustojen ja rajapintojen sekä niiden avulla syntyvien yleiskäyttöisten algoritmien leviäminen on luonnollisin reitti kohti myös robotisaation yhteistä ja laajavaikutteista digitaalista tietopohjaa.

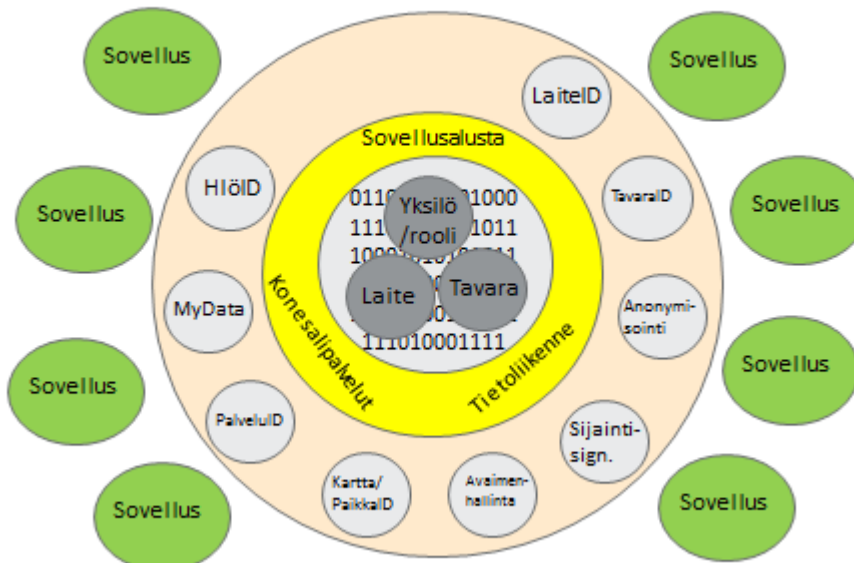
#### **4. Robotisaation digitaalinen tietopohja**

Digitaalinen tieto voi olla robotin kannalta merkityksetöntä kolmesta syystä: 1. mikäli robotti ei oman rajoittuneisuutensa tai infrastruktuurin puutteiden vuoksi saa tietoja oikea-aikaisesti luetuksi, 2. mikäli robotti ei tunnista tai saa tietoa omasta tilastaan relevantin tiedon hakemiseksi ja jäsentämiseksi, 3. mikäli digitaalinen tieto ei ole jäsentynyt tavalla, jonka perusteella robotin algoritmit kykenevät toimimaan. Jokainen näistä kolmesta muuttaa digitaalisen tiedon merkityksettömäksi eikä sitä voida pitää osana tässä selvityksessä määriteltyä robotisaation digitaalista tietopohjaa ainakaan tällaisen robotin kannalta.

Digitaalinen tietopohja edellyttää Liikenneviraston julkaisemassa raportissa Liikennetiedon visiot tarkemmin kuvattua infrastruktuuria ja ekosysteemiarkkitehtuuria hyvin toimiakseen (Linturi, Kuittinen, 2014). Jotta digitaalinen tieto kertyisi merkityksellisellä tavalla, tulisi laitteiden, tavaroiden, paikkojen, palveluiden ja ihmisten kyetä halutessaan yksilöimään itsensä toisilleen. Ekosysteemissä tulee olla systeemitason palveluita, jotka tietosuojan vaatimusten mukaisesti auttavat yhdistelemään ja anonymisoimaan tietoja siten, että yhdistelyn hyötyjä ei tarpeettomasti karsita. Viitteessä kuvattu broker-arkkitehtuuri sallii myös alustojen evolutiivisen kehityksen ja vaihtoehtoisten standardien rinnakkaisen käytön.

## Digitaalisen tietopohjan ekosysteemimalli

Suunniteltu maksimoimaan antifragiilisuus, tietosuoja, tietojen yhdisteltävyys ja saavutettavuus



Linturi ja Kuittinen, Liikennetiedon visiot 2014

Ekosysteemiarkkitehtuurin tärkeimpiin osiin kuuluu tavart yksilöivä tietorakenne. Kutakin yksilöityä tavaraa vastaa yksilöllinen internet-osoite vakioituun tietorakenteeseen. Tätä voi välttää kutsua tavaroiden internetiksi. Toinen tärkeä osa yksilöi ja vakioi mittalaitteet ja anturit sekä niiden ohjaustavat ja laiteohjaimet. Tätä voidaan välttää kutsua teolliseksi

internetiksi. Kolmas tärkeä taso on tunnistaa ja tarvittaessa anonymisoi käyttäjän hänen itsensä valitsemana luotettuna kolmantena osapuolena, joka on tarvittaessa käyttäjän puolesta yhteydessä sovelluksiin ja yhdistelee tarvittaessa sovellusten tietoja yksilölle relevantilla tavalla ilman, että eri sovellukset saavat tarpeettomasti yksilön tietoja tai että yksilön tarvitsee toistuvasti syöttää samoja tietoja. Tätä ekosysteemin osaa voidaan välttää kutsua MyData- tai Omadata-nimellä. Näillä kaikilla on radikaali vaikutus robotisaatioon.

Riittävä ICT-infrastruktuuri on monissa robotisaation sovelluksissa yhteisen digitaalisen tietopohjan käytön välttämätön edellytys. Mikäli digitaalinen tieto ei muutu reaaliaikaisesti ja on riittävän tiiviissä muodossa, voi sen ladata robotin muistiin. Mikäli kuitenkin tilannetiedot ja ohjaustoimet edellyttävät reaaliaikaisuutta, tulee tietoliikenteen ja käytettyjen pilvipalveluiden vasteaikojen ja kapasiteetin täyttää vaaditut käytettävyyden ja muut laatuvaatimukset. Tietoverkot eivät toistaiseksi tarjoa laajan robotisaation edellyttämää palveluluokitusta, jossa reaaliaikaisuutta edellyttävät palvelut priorisoidaisiin.

Digitaalisen tietopohjan esimerkkejä ovat autonomisesti navigoivien laitteiden tarvitsemat kartat reitti- ja paikkatietoineen, tunnistamiseen tarvittavat tiedot paikoista, tavaroista, ympäristöolosuhteista, materiaaleista, prosessien tilasta ja tarpeista sekä käyttöasteista. Hyviä esimerkkejä digitaalisesta tietopohjasta ovat myös erilaiset tavaroiden ja materiaalien valmistusohjeet, palveluiden tuottamisohjeet, ohjeet vuorovaikutukseen ihmisten ja eläinten kanssa ja monet muut tilannesidonnaiset ohjeet, joissa raja yhteisen digitaalisen tietopohjan ja laitteeseen ohjelmoitujen algoritmien välillä hämärtyy.

Digitaalista tietopohjaa tullaan kokoamaan sekä robottien että ihmisten toimesta tavalla, joka on kuvattu laajemmin viitteessä (Linturi, Kuittinen, 2014). Osia digitaalisesta tietopohjasta ja ohjelmistoista kopioidaan hajautetusti robotteihin, pääosin digitaalinen tietopohja tulee sijaitsemaan erilaisissa pilvipalveluissa, joissa myös merkittävä osa ohjelmistollisesta käsittelystä tulee tapahtumaan. Big data ja open data ovat tärkeitä digitaalisen tietopohjan soveltamiseen liittyviä käsitteitä. Digitaalinen tietopohja voi standardoinnin puutteessa kertyä laitetoimittajakohtaisiin silloihin, mutta onnistunut rajapintojen vakiointi voi luoda laiteriippumattoman digitaalisen tietopohjan hyvinkin moneen sovellustarpeeseen. Digitaalinen tietopohja voi syntyä julkisin varoin, Wikipedian kaltaisena kolmannen sektorin joukkoistettuna ja joukkorahoitettuna hankkeena, mainosrahoitteisena palveluna, laitetoimittajan

sponsoroimana ja laitemyynnillä katettuna tai itsessään maksullisena sisältönä. Kaikilla vaihtoehdoilla on etunsa ja haittansa.

## 5. Robottiikan kymmenen geneeristä teknologiaa

Luvussa esitellään kymmenen tärkeintä robottiikan geneeristä teknologiaa, joilla on vaikutuksia useilla toimialoilla ja useissa eri prosesseissa. Useimmat käytännön laitteet sisältävät monia näistä teknologioista ja jaottelun tarkoituksena onkin eritellä ominaisuuksien vaikutuksia ennemmin kuin jakaa robotit kymmeneen eri ryhmään.

### 5.1 Robotisoitu tieliikenne

**Teknologian kuvaus:** Ajoneuvoissa robotisaatiolla tarkoitetaan kuljettajan avustamista vaikeissa tai yksitoikkoisissa liikennetilanteissa, kuljettajan korvaamista etäohjauksella tai täysin autonomisella, itseään ohjaavalla ajoneuvolla. Reitit voivat olla autonomista ajoa varten vakioituja ja valmisteltuja tai ajoneuvo voi toimia normaalissa liikenneympäristössä. Teknologiaa kehitetään sekä henkilö- että tavaraliikenteeseen (DHL 2014).

**Valmius nyt ja 2020-luvulla:** Useat ajoneuvojen valmistajat, niiden alihankkijat ja tutkimuskumppanit kehittävät kuljettajaa avustavaa ja täysin autonomista teknologiaa (Linturi 2013). Autonomisten autojen kehittyneimmät demonstraatiot on esitelty kaupunkiympäristössä Google ja maastossa Lockheed. Rajatuilla alueilla ja vakioituja reittejä ajavia kuljettajattomia ajoneuvoja testataan jo useissa maissa julkisen liikenteen osana erityisluvulla. Teknologia ei toistaiseksi ole ongelmatonta, mutta useimmat aiheesta tehdyt tuoreet raportit pitävät todennäköisenä, että ensimmäisiä täysin autonomisia normaaliin liikenneympäristöön tarkoitettuja ajoneuvoja on markkinoilla vuonna 2020. Mahdolliselta vaikuttava, joskin ehkä optimistinen aikajana kehitykselle on kuvattu lähteessä (Hars 2014).

**Potentiaalinen lisäarvo:** Tieliikenteen robotisaatio etenee vaiheittain. Robottiajoneuvojen yleistymisen vähentää tieliikenneonnettomuuksia merkittävästi jo nyt (EU). Liikennetiedon ja ympäristötiedon kerääminen helpottuu (Linturi&Kuittinen 2014) ja liikenteen sujuvuus paranee. Vakioituilla reiteillä, esimerkiksi lähiöissä ja haja-asutusalueilla robottiajoneuvot voivat laskea kuljetuspalveluiden kustannuksia ja mahdollistaa nykyistä paremman palvelutason. Täysin autonomiset ja vapaasti reitittyvät robottiajoneuvot mahdollistavat autoilun palveluna, jonka kautta voidaan laajasti luopua yksityisesti omistetuista autoista. Vaikutukset kaupunkirakenteeseen, autoilun pääomakustannuksiin ja ajankäyttöön voivat nousta 10-20 miljardin euron vuositason (Linturi 2013). Samansuuntaisia laskelmia on useita (esim. Spieser & al. 2014). Täysin autonomisen ajoneuvon potentiaaliset vaikutukset liikkumisen tasa-arvoon ovat erittäin suuret ja helpottavat ratkaisevasti hyvin laajan väestöosan liikkumista.

**Digitaalinen tietopohja:** Täysin autonominen auto näyttää vaativan hyvin yksityiskohtaisen 3D-mallin liikenneympäristöstä. Valmius tällaisten tuottamiseen on ainakin Googlella ja Nokialla. Kansallisen paikkatiedon integrointi näihin autoteollisuutta palveleviin malleihin tulee selvittää. Liikennetiedon tuottajana ajoneuvot ja infrastruktuuri ovat tärkeitä ja sen tiedon rajapintoihin kannattaa kiinnittää erityistä huomiota syistä, jotka on laajasti osoitettu viitteessä (Linturi, Kuittinen 2014).

### 5.2 Robottilennokit

**Teknologian kuvaus:** Robottilennokit ovat kauko-ohjattavia tai autonomisesti navigoivia lentolaitteita. Edullisimmat laitteet toimivat sähkömoottorien avulla ja akut rajaavat lentoajan minuuteista pariin tuntiin. Lentonopeus vaihtelee helposti rakennettavissa laitteissa kymmenistä kilometreistä noin kahteen sataan kilometriin tunnissa. Google on demonstroinut

lennokin, joka toimii aurinkoenergialla. Google on myös demonstroinut lennokin, joka tuottaa tuulesta energiaa enemmän kuin sitä lentämiseen tarvitsee.

**Valmius nyt ja 2020-luvulla:** Harrastelijat voivat nyt yleisesti saatavilla olevan elektroniikan avulla rakentaa nelikoptereita ja aerodynaamiseen lentoon kykeneviä droneja hyvin helposti ja internetistä saatavilla tiedoilla. Edullisimmat leikkikaluina myytävät toiminnallisesti mielekkäät nelikopterit maksavat kymmeniä euroja, yli kilon painoista kuormaa kantavat laitteet maksavat satoja euroja. 2020-luvulla akkujen kehittyessä satojen eurojen hintaisten laitteiden voi arvioida kantavan parin kilon kuormaa sadan kilometrin matkan ilman latausta. Vaativimmat laitteet voivat lentää vuosia laskeutumatta. Lennokkien generoima leijaenergia saattaa mahdollistaa pientenkin laitteiden lentää tuhansien kilometrien etäisyyksiä. Lentokenttiä käyttävien lennokkien voidaan tulevaisuudessa arvioida kuljettavan jopa tuhannen kilon kuorman tuhannen kilometrin matkan sadan litran polttoainemäärällä.

**Potentiaallinen lisäarvo:** Aiemmin lähinnä sotilas- ja tiedusteluteknologiana käytettyjä laitteita käytetään nykyään kuvaus- ja valvontatehtävissä. Laitteita kokeillaan pienten tavaroiden kuljetuksessa sekä mm. kokoonpanotehtävissä. Tavaroiden kuljetuksessa ne ratkaisevat erityisesti nopeutta vaativat kuljetustarpeet vähentäen varastointitarvetta ja lähialueiden kuljetustarpeita vähentäen muuta liikennettä. Valvonta-, kartoitus- ja mittaustehtävissä sekä erilaisissa kokoonpano- ja tavaroiden siirtelytehtävissä, kuten työkalujen ja komponenttien siirtelyssä, tarjoilutehtävissä ja etsintätehtävissä laitteet tarjoavat potentiaalisen suuren lisäarvon. Laitteiden sotilaalliset ja terrorismin mahdollistavat sovellukset pakottavat pohtimaan puolustuskysymyksiä uudelleen.

**Digitaalinen tietopohja:** Lennokkien laaja käyttö logistiikassa edellyttää automatisoitua digitaalista reititystä ja valvontaa sekä laadultaan riittävää tietoliikenneverkkoa.

### 5.3 Robotisoitu tavaroiden tunnistus ja manipulointi

**Teknologian kuvaus:** Tavarat ja niiden ominaisuudet voidaan nykyään tunnistaa niissä olevan sähköisen tai visuaalisen merkinnän avulla, mutta myös vertaamalla tavarat visuaalista 3D-hahmoa tai muuta materiaalista antureiden avulla saatua tietoa koostumuksesta tietokantaan. Tavaroiden manipulointi edellyttää sähkömagneettista, mekaanista tai muuta tapaa tarttua tavaroihin ja muuttaa niiden asentoa tai siirtää niitä. Siirtäminen voi edellyttää robotilta kykyä kävellä tai liikkua muutoin. Kyky tunnistaa tavara tai sen ominaisuus yhdistettynä manipulointikykyyn mahdollistavat laajan joukon robotinomaisia toimintoja.

**Valmius nyt ja 2020-luvulla:** Tavaroiden tunnistamiseen liittyvät merkintätavat alkavat olla vakiintuneita. 3D-kameroiden ja 3D-mallinnusteknologian avulla tavaroiden tunnistus niiden hahmosta on myös saavuttamassa käytännöllisen tason. Materiaaleja ja niiden ominaisuuksia tunnistavat optiset ja kemialliset menetelmät ovat myös muuttumassa edullisiksi. 2020-luvulla on oletettavaa, että merkinnät vakiintuvat siten, että tavarat voidaan tunnistaa yksilöllisesti. Materiaaleja sekä muotoja tunnistavat optiset menetelmät muuttunevat nekin 2020-luvulla arkisiksi. Ihmisen käden kaltainen monipuolinen tarttuminen tavaroihin on nykyisellään haaste roboteille. Toistaiseksi eri tyyppisiin tavaroihin tarttumiseen tarvitaan kuhunkin tilanteeseen suunniteltu mekanismi ja parhaatkin robottikädet ovat kömpelöitä. Proteesien kehityksen sekä materiaalitutkimuksen kautta on odotettavissa, että 2020-luvulla robottikädet tavoittavat ihmiskäden monipuolisuuden. Luonnollisessa ja ihmiselle rakennetussa ympäristössä liikkuminen on sekin ratkeamassa.

**Potentiaallinen lisäarvo:** Suurin osa ihmisen kaikesta työstä sisältää tavaroiden tunnistusta ja käsittelyä. Perinteinen teollisuusautomaatio tuottaa suuruuden ekonomiaa, kun automatiikka rakennetaan käsittelemään vakioituja tavaroita vakioituilla tavoilla. Tavarat ja niiden ominaisuudet tunnistava sekä monipuolisesti ennalta määräämättömiä ihmisen ympäristön tavaroita ja työkaluja käsittelevä robotti tehostaa hajautettua työtä ja mahdollistaa

paikallisen työn automatisoinnin. Vaikutukset voivat jo 2020-luvulla ulottua useimpiin manuaalisiin työtehtäviin esimerkiksi kunnossapidon, logistiikan, kaupan, teollisuuden, terveydenhuollon, ravintolapalveluiden, siivousalan ja alkutuotannon parissa.

**Digitaalinen tietopohja:** Yhteisiin tietokantoihin tulisi varastoida vertailutietoina tavallisten tavaroiden tunnistamiseen soveltuvat hahmot ja materiaalikooostumukset. Tavaroiden yksilöllistä tunnistetta vastaava tietorakenne tulisi standardoida ja saada yhteiskäyttöön.

## 5.4 Robotisoitu työ ja valmistus

**Teknologian kuvaus:** Perinteisessä teollisuudessa automaatio on tyypillisesti palvellut työvaiheiden toistamista koneellisesti. Robotisaatiolla tarkoitetaan valmistuksessa joustavuuden lisääntymistä siten, että sama tuotantolinja tai tavaroita valmistava laite voi vähäisin muutoksin, jopa vain asetusta vaihtamalla tuottaa automaattisesti hyvinkin erilaisia tavaroita, kuten käsityöläinen työpajassaan. Kehityksen alkuvaiheessa puhuttiin joustavista tuotantolinjoista, nyt teollisesta internetistä, pikavalmistuksen 3D-tulostimista ja numeerisista työstökoneista sekä työkaluja joustavasti käyttävistä roboteista.

**Valmius nyt ja 2020-luvulla:** Numeeriset työstökoneet ja joustavien tuotantolinjojen ratkaisut ovat teollisuudessa tavallisia. 3D-tulostuksen teknologia soveltuu tavaroiden valmistukseen vasta rajallisesti. Ennusteiden mukaan (Gartner 2014) 3D-tulostuksen käyttö moninkertaistuu nykyisestä jo ennen 2020-lukua. Materiaalivalikoima, laitteiden tarkkuus ja nopeus kehittyvät nyt nopeasti. Todennäköistä on, että 2020-luvulla 3D-tulostus on jo rutiinia hyvin monella alalla sekä varaosien että yksilöllisten tuotteiden ja pienten sarjojen valmistuksessa. Erilaisten joustavien pikavalmistustekniikoiden voidaan ennakoida ulottuvan rakentamisesta terveydenhuollon ja elintarviketuotannon sovelluksiin kappaletavaran valmistamisen ohella. Helposti saatavilla olevia valmiita malleja tavaroiden pikavalmistukseen on jo sadoin tuhansin. Määrä ja laatu kehittyvät nopeasti.

**Potentiaalinen lisäarvo:** Robotisaation aiheuttama valmistuksen hajautuminen siirtää teollisuuden tehtäviä kaupan ja palveluiden sektorille, hajauttaa valmistusta jatkuvasti lähemmäs markkinoita tai jopa kotitalouksiin ja avaa yksilölliselle valmistukselle ja paikalliselle pientuotannolle ruunsaasti kannattavan toiminnan edellytyksiä. Robotisaatio vähentää vientimahdollisuuksia samalla, kun se vähentää tuontitarvetta, monipuolistaa kotimarkkinaa ja hajauttaa yritystoimintaa. Mikäli yksilöllisiä lisäarvoja kyetään hyödyntämään, on teknologialla merkittävä työllistävä ja tulonjakoa tasaava vaikutus. Pikavalmistus on perinteistä teollisuutta vähemmän pääomavaltaista ja työvoiman tarve tuotettuun tavarahan nähden on suurempi. 2020-luvun lopulla pikavalmistuslaitteita käyttänee työkseen Suomessa yli satatuhatta ihmistä.

**Digitaalinen tietopohja:** Valmiiden 3D-mallien kirjastot, mallien myyntipaikat ja niihin liittyvät IPR-järjestelmät, materiaalitietokannat ja mitoitusaineisto CAD-mallien tekoon.

## 5.5 Sosiaaliset robotit ja etiäiset

**Teknologian kuvaus:** Sosiaaliset robotit ovat laitteita, jotka vuorovaikutuksessa ihmisen kanssa herättävät ihmisissä tunteita, reagoivat tunteisiin ja toimiin tai toimivat välittäjinä ihmisten sosiaalisessa kommunikaatiossa. Sosiaalisina robotteina voidaan pitää myös opetus- ja opastustehtäviin sekä aineettomiin palvelutehtäviin kehitettyjä ainakin osittain autonomisesti toimivia laitteita ja etiäisiksi kutsuttuja etäläsnäöloön käytettyjä laitteita. Sosiaalisina robotteina pidetään tässä myös ihmisen toimintaa matkivia virtuaalisia tiskipalveluita, asiantuntija- ja neuvontapalveluita, tulkkaukspalveluita ja muita selkeästi sosiaalista kontekstia edellyttäviä tekoälyn sanallisesti vuorovaikutteisia sovelluksia.

**Valmius nyt ja 2020-luvulla:** Sosiaalisten robottien käyttö on alkanut kokeellisesti vanhusten "lemmikkeinä", voimistelunohjaajina ja opetustehtävissä. Pyörillä sisätiloissa

liikkuvia etäläsnäöloon soveltuvia etiäisiä markkinoidaan kaupallisesti. Eleiden ja ilmeisen tunnistus alkaa saavuttaa käytännöllisen tason. Virtuaaliset tiskipalvelut, asiantuntijapalvelut ja tulkkaukspalvelut ovat kokeellisia tai käytössä hyvin yksinkertaisissa tehtävissä. 2020-luvulla on todennäköistä, että sosiaalisten robottien kanssa voidaan rajatuilla aihealueilla käydä hyödyllisiä keskusteluita, robotit kykenevät rutiininomaisesti tunnistamaan ilmeitä ja eleiden merkityksiä. Etäläsnäölon laitteet liikkuvat 2020-luvun lopulla luontevasti ihmisen ympäristössä, projisoivat kasvoilleen käyttäjänsä ilmeet ja välittävät käyttäjänsä virtuaalimaailmaan ainakin näkö-, kuulo- ja tuntohavaintonsa. Virtuaalisten tiskipalveluiden alue tulee laajenemaan radikaalisti erilaisiin asiantuntijatehtäviin ja viihteeseen.

**Potentiaallinen lisäarvo:** Sosiaaliset robotit inhimillistävät ihmisten ja koneiden vuorovaikutusta ja tekevät tietokoneet ja robotit helppokäyttöisemmiksi ihmisille, joiden tekniset taidot ovat rajallisia. Sosiaalisten robottien avulla voidaan tarjota runsaasti sellaisia palveluita, joihin nyt ei ole mahdollisuutta, mutta niiden avulla voidaan myös tehostaa ja yksinkertaistaa monia toimintoja. Sosiaaliset robotit voivat myös lisätä ihmisten keskinäistä vuorovaikutusta monin eri tavoin. Sosiaaliset robotit ja etiäiset vähentävät liikennetarvetta.

**Digitaalinen tietopohja:** Palvelualustat, asiantuntijapilvipalvelut, eleiden ja ilmeiden tunnistuspalvelut ja vakioituneet rajapinnat ohjelmistojen sekä erilaisten laitteiden väliin.

## 5.6 Diagnostiikka- ja valvontarobotiikka

**Teknologian kuvaus:** Diagnostiikka- ja valvontarobotiikkana pidetään tässä laitteita, jotka pääosin autonomisesti suorittavat valvontaansa määritellyllä alueella tai kohteessa havainnointia, joka kohdistuu robotin ainakin osin autonomisesti havaintojensa avulla määrittelemiin kohtiin ja johtopäätöksiin, joihin havainnot antavat aihetta. Diagnostiikka- ja valvontarobotteina pidetään myös laitteita, jotka mekaanisesti tai muutoin toimivat autonomisesti esimerkiksi näytteenottotilanteissa.

**Valmius nyt ja 2020-luvulla:** Optiset menetelmät ovat jo osin korvanneet perinteiset tutkimusmenetelmät. Stereokamerat, LIDAR, spektroskopia ja mikroanturitekniikka ovat jo käytössä moninaisissa havainnointitehtävissä ja teknologia halventuu nopeasti arkikäytön tasolle. Elintoimintojen havainnointi ja ongelmatilanteiden raportointi on monille jo osa arkea. 2020-luvulla teknologia kehittyy edelleen nopeasti siten, että roboteille voidaan helposti antaa vaihtelevia ja laajoja valvonta- ja etsimistehtäviä, esimerkkinä vaikkapa mustikoiden paikallistaminen metsässä tai varoittaminen allergiaa aiheuttavista ravintoaineista lautasella. Helposti diagnosoitavien tautien seulonta siirtyy myös koneille.

**Potentiaallinen lisäarvo:** Ympäristöstä ja omasta kehosta saatava tieto tekee yksilöllisen funktionaalisen ravinnon käytännölliseksi. Oppiessaan tunnistamaan materiaaleja ja tavaroita, robotit voivat suorittaa suuren määrän tehtäviä, jotka nyt jäävät tekemättä tai kuluttavat runsaasti resursseja. Teolliset prosessit, materiset heikkoudet, vuotokohdat, ympäristömyrkyt, liikennetilanteet, kasvuolosuhteet, elintoiminnot, rikosten selvittäminen ja monet muut toiminnot muuttuvat aiempaa helpommin hallittaviksi ja ymmärrettäviksi. Teknologia vaikuttaa sekä ihmisen arkeen että satoihin tuhansiin työtehtäviin Suomessa.

**Digitaalinen tietopohja:** Tietokannat, jossa kappaleiden muodot tai materiaalien "sormenjäljet" kuvattu. 3D-paikkatieto. Prosessikuvaukset, diagnosoitavien kohteiden ja koneellisesti havaittavien asioiden koneluettavat kuvaukset ja diagnostiikkakaaviot.

## 5.7 Kauko-ohjattavat robottityökalut

**Teknologian kuvaus:** Kauko-ohjattavia laitteita ei aina pidetä robotteina. Yhä useammin kauko-ohjaus on kuitenkin osittaista ja muu osatoiminnasta autonomista. Esimerkiksi trukit tai kaivosajoneuvot saattavat kulkea yksinkertaiset reitit itse ja vaatia ohjausta vain

esimerkiksi kuormausvaiheessa. Kauko-ohjattavien laitteiden ohella kehitetään jatkuvasti kauko-ohjaukseen mahdollisimman luonnollisia käyttöliittymiä.

**Valmius nyt ja 2020-luvulla:** Kauko-ohjaus on nykyisellään pisimmälle kehitetty sotilaslennokeissa. Erilaisiin pelastustehtäviin, kaivoksiin merenalaiseen öljynporaukseen, avaruustutkimukseen ja muihin ihmiselle vaikeisiin olosuhteisiin on kehitetty kauko-ohjattavia laitteita, joista osa toimii pääosin autonomisesti. Myös logistiikan ja valvonnan tehtävissä on kauko-ohjattavia laitteita. 2020-luvulla on odotettavissa kauko-ohjattavien ajoneuvojen, etälääketieteen, etäläsnäölon, tunnistamiseen ja manipulointiin kykenevien robottien ja logistiikan kehittyessä, että kauko-ohjauksen rooli koneelle hankalien päätöksentekotilanteiden ratkaisijana kasvaa huomattavasti. Odotettavissa on myös, että operaattorit tulevat tarjoamaan kauko-ohjaukseen laadultaan soveltuvia tietoliikenneyhteyksiä, joissa tarjolla oleva kaista ja latenssi täyttävät minimiehdot.

**Potentiaalinen lisäarvo:** Robotisaation etenemisen kannalta kauko-ohjauksen suurin lisäarvo on siinä, että voidaan robotisoida sellaisiakin tehtäviä, joihin liittyy ohjelmoijien ja koneen osattavaksi liian vaikeita osa-alueita. Kauko-ohjauksen käyttö näissä tilanteissa nopeuttaa robotisaation etenemistä ja parantaa sen laatutasoa huomattavasti. Toisaalta kauko-ohjaus vähentää matkustustarvetta ja monet asiantuntemusta vaativat tehtävät voidaan suorittaa asiantuntijan tulematta paikalle. Tällä on suuri merkitys esimerkiksi haja-asutusalueen palveluiden ja palvelurakenteen ylläpidon kustannusten osalta.

**Digitaalinen tietopohja:** Tietoliikenneverkko, jossa langattomille yhteyksille on taattu riittävän vähäinen latenssi ja riittävä kaista kauko-ohjausta varten, kauko-ohjattavien laitteiden "aistien", ohjaussignaalien ja käyttöliittymien vakiointi algoritmitasolla.

## 5.8 Biotalouden ja elinympäristön robotisaatio

**Teknologian kuvaus:** Biotalouden ja elinympäristön robotisaatiolla tarkoitetaan sellaista automaatiota, jonka tarkoituksena on pitää kasvuolosuhteet tai elinolosuhteet suotuisina valittujen lajikkeiden tai ihmisen kannalta sekä tuottaa biologisten prosessien ohjaamisen kautta niille määriteltyjä ja toivottavia tuloksia.

**Valmius nyt ja 2020-luvulla:** Maataloudessa robotisaatio on monilta osin pitkälle kehitettyä sekä pelto- että kasvihuoneviljelyssä ja karjankasvatuksessa. Koneet kyntävät, kylvävät, kastelevat ja tarpeen mukaan lannoittavat sekä suorittavat korjuun kokonaan tai lähes automaattisesti. Lehmät lypsetään ja ruokitetaan sekä navetta siivotaan automaattisesti. Automaatio lisääntyy metsänhoitoon, katujen ja teiden kunnossapitoon sekä asuntoihin. Keinovaloon perustuva automaattinen vesiviljely yleistyy 2020-luvulla ja biotalous tuottaa kehittyvän automatiikan avulla yhä moninaisempia materiaaleja ja jopa toiminnallisia tavaroita robotisoiduilla prosesseilla.

**Potentiaalinen lisäarvo:** Maataloudessa automaation lisääminen vähentää lannoitteiden kulutusta, parantaa tuottavuutta ja vähentää tarvittavan työn määrää. Metsänhoidossa metsän kasvuolosuhteet tunnistava ja metsänparannusta sekä karsintaa metsän kasvua optimoiden suorittava robotti lisää metsän tuottavuutta ja vähentää kasvitauteja. Keinovaloon perustuva vesiviljely mahdollistaa aurinkoenergian hinnan laskiessa elintarvikkeiden ja bioperäisten materiaalien kasvattamisen energiatehokkaasti maaliskuusta lokakuuhun saakka ja robotisaatio mahdollistaa pientuotannon ilman asiantuntemusta. Rakennusautomaatio vähentää energiankulutusta ja parantaa sisäilmaa ja tautien leviämistä vähentäen sairastavuutta. Rakennetun ympäristön kunnossapidon robotisaatio vähentää kustannuksia ja liukastumisista johtuvia onnettomuuksia.

**Digitaalinen tietopohja:** Prosessimallit, paikkatiedot, lajikekohtaiset mallit optimaalisista keinoitekaisista kasvuolosuhteista kasvun aikana, kalibrointi- ja vertailutiedot, prosessikohtaiset sovellukset, pilvipalvelut, rajapinnat

## 5.9 Robottivälineet ja älykkäät proteesit

**Teknologian kuvaus:** Kiikarit ja sydämentahdistin ovat esimerkkejä ihmisen suorituskykyä parantavista välineistä. Robotisaatioon laskettavia ovat mm. digitalista tietoa näköhavaintoihin yhdistävät laajennetun todellisuuden lasit ja infrapunalasit ja muut havaintokykyä parantavat välineet sekä omia elintoimintoja mittaavat laitteet ja lihasvoimaa ja motorisia taitoja parantavat proteesit.

**Valmius nyt ja 2020-luvulla:** Ensimmäisiä laajennetun todellisuuden lasia on tuotu markkinoille, mutta toiminnallisuuden ja sovellustarjonnan heikkouden vuoksi nämä soveltuvat vain harvoihin tarkoituksiin hyvin. Infrapunalasit ovat sotilaallisessa käytössä tavallisia, mutta toistaiseksi kömpelöitä. Robottijalkoja ja -käsia kehitetään monen yrityksen toimesta ja niitä on satojen ihmisten käytössä. 2020-luvulla laajennetun todellisuuden lasien uskotaan olevan tavallisia ja sovellustarjonnan runsasta. Lasit kykenevät tunnistamaan katseen suunnan ja näkökentässä olevia asioita lisäten ja korostaen niitä toivotulla tavalla sekä nauhoittaen kiinnostavia näkymiä. Robottijalat ja -kädet ovat luultavasti heikkojalkaisten laajasti saatavilla sekä raskasta työtä tekevien käytössä lihasvoimaa vahvistamassa. Robottijalkoihin ja käsiin on saatavilla pilvipalveluista erilaisia taitoja, joiden avulla tanssitaiteiden oppii tanssimaan ja soittotaiteiden soittamaan. Robottiraajat, robotisoidut aistit ja elintoimintojen monitorointi käynnistävät laajemman kehityksen, ihmisen itsensä teknistymisen suuntaan, joka jatkuu moninaisilla keinoelimiä.

**Potentiaalinen lisäarvo:** Ihmisen kyvykkyyksien lisääminen on arvo itsessään. Erityisen tärkeä se on niissä tilanteissa, joissa sairaus tai tapaturma on vienyt toimintakyvyn, toimintakyky on synnynnäisesti ollut epänormaalin alhainen tai ihmisellä ei lajina po. toimintakykyä ole ollut ilman työkalujaan. Yhteiskunta kokonaisuutenaan joutuu kantamaan merkittäviä kustannuksia alentuneesta toimintakyvystä sekä menetettynä työaikana, sosiaali- ja terveysalan kustannuksina että yleisenä hyvinvoinnin menetyksenä. Parantunut tietoisuus ympäristöstä ja sen prosesseista sekä robotisaation avustama kyky liikkua ja käsitellä ympäristön objekteja lisäävät ihmisten vapauksia ja parantavat tuottavuutta.

**Digitaalinen tietopohja:** Biologiset/lääketieteen tietopankit, reaali maailman hahmojen tunnistusta edistävät tietopankit, paikkatiedot.

## 5.10 Mikro-, nano- ja biorobotit

**Teknologian kuvaus:** Mikro- ja nanoroboteiksi kutsutaan robottimaisesti toimivia laitteita, jotka käsittelevät millimetriä tai mikrometriä pienempiä objekteja. Kyse on toiminnallisesti yksinkertaisista mekanismeista, jotka esimerkiksi suolistossa ohjataan etenemään haluttuun paikkaan vapauttamaan siellä lääkeannoksen. Biorobotit ovat osin biologiseen eliöön perustuvia. Esimerkiksi torakasta on tehty kauko-ohjattava ja ominaisuutta on ajateltu käytettävän pelastustehtävissä.

**Valmius nyt ja 2020-luvulla:** Tällä hetkellä kyetään tekemään lentäviä kyberhyönteisiä, jotka ovat kärpäsen kokoisia. Kyetään myös toteuttamaan hyvin yksinkertaisia mikro- ja nanorobotteja. Nanotasolla on onnistuttu toteuttamaan myös radiovastaanotin, mutta ei vielä radiolähetintä. Yksi keskeisimmistä ongelmista on energiansaanti. Pienten laitteiden tulee kerätä energia ympäristöstään. 2020-luvulla kyetään todennäköisesti toteuttamaan ihmisen elimistössä liikkuvia robottimaisesti toimivia ympäristöstä tietoa kerääviä ja toimintaa modifioivia mikro- ja nanorobotteja. Kyetään myös todennäköisesti tekemään elinympäristöä monitoroivia ja metamateriaaleja sekä toiminnallisia kappaleita ja monimutkaisia



materiaaliominaisuuksia tuottavia mikro-, nano- ja biorobotteja. Todennäköisesti robottimaisista artefakteista tulee pysyvä osa sekä ihmistä että ympäristöä.

**Potentiaalinen lisäarvo:** Hyvin pienillä roboteilla tullee olemaan merkittävä vaikutus terveydenhuoltoon ja muuhun hyvinvointiin sekä materiaaliteknologiaan. Teoriassa hyödyt ulottuvat siihen asti, että robotit korjaavat ja korvaavat ihmistä solutasolla. On myös mahdollista, että biorobottien liuoksessa kasvatetaan akku tai aurinkopaneeli käsin koskematta ja näin on jo tehty laboratorio-olosuhteissa. Kyse on siis mahdollisuudesta täysin uuteen tapaan käsitellä ja valmistaa tavaroita ja kerätä tietoa. Kehitys on tällä alueella nopeaa eikä hyötyjä ole helppo ennakoida.

**Digitaalinen tietopohja:** Biologian simulointimallit soluaineenvaihdunnasta DNA-tasolta alkaen elintasoon saakka bakteereista ihmiseen.

## 6. Geneeristen teknologioiden vaikutukset 20 eri arvonluontiverkostossa

Tässä luvussa taulukoidaan robotisaation kunkin edellä kuvatun kymmenen geneerisen teknologian vaikutusten laajuutta 20 eri arvonluontiverkostossa Radikaalien teknologioiden nelitasomallin menetelmällä. Menetelmä arvonluontiverkostoineen on kuvattu Eduskunnan tulevaisuusvaliokunnan julkaisemassa raportissa "Suomen sata uutta mahdollisuutta". Arvonluontiverkostot ovat otsikkoaan laajempia ja otsikot ovatkin osin harhaanjohtavia. Pisteytys on suoritettu mahdollisimman tarkasti lähteessä annettujen kuvausten mukaisesti.

Kunkin geneerisen teknologian potentiaali on arvioitu asteikolla 0-20. Arvon 1 saa, mikäli ratkaisu onnistuessaan tuottaa lisäarvoa kyseisen verkoston pääasiallisen arvonluonnin näkökulmasta. Arvon 3 saa, mikäli lisäarvon potentiaali on kymmeniä miljoonia euroja Suomen mittakaavassa tai sillä voi olla laaja vaikutus ihmisten arkeen. Arvon 5 saa, mikäli potentiaalinen lisä-arvo on yli sadan miljoonan euron tai vaikutus ihmisten arkeen on laaja ja merkittävä. Arvon 10 saa, mikäli potentiaalinen vaikutus on yli miljardi euroa tai vaikutus ihmisten arkeen on laaja ja ratkaiseva. Arvon 20 saa, mikäli ratkaisu on arvonluontiverkoston pääasiallisen kuvatun kehityksen kannalta välttämätön. Väreillä on koodattu vaikutusten todennäköisyyttä 2020-luvun kuluessa. Tummin vihreä osoittaa suurehkoa varmuutta, että vaikutukset toteutuvat ainakin osittain. Vaalein vihreä osoittaa, että vaikutusten toteutuminen on mahdollista, keltainen osoittaa epätodennäköisyyttä ja punaisella on merkitty epärelevantteina pidetyt yhdistelmät. Tämä voi johtua teknologian kypsymättömyydestä, hyötyjen puutteesta tai kustannusten ja hyötyjen epäsuhdasta.

Taulukosta havaitaan selkeästi, ettei tyypillinen tapa tarkastella robotisaatiota toimialojen kautta selitä robotisaatio-ekosysteemin ilmiöitä sen paremmin kuin toimialakohtainen tarkastelu olisi selittää Internetin aikaansaamia ilmiöitä. Esimerkiksi käyvät nelikopterit, joiden sovellukset aluksi olivat sotilaallisia ja seuraavat harrastajien ja elokuvateollisuuden parista. Nyt teknologiaa sovelletaan jo logistiikkaan, terveydenhuoltoon ja kunnossapitoon. Elektroniikaltaan ja ohjelmistoiltaan laitteet ovat lähes identtisiä.

Teknologiakehityksen ja ekosysteemien, digitaalisen tietopohjan ja rajapintojen kehityksen kannalta onkin ongelmallista painottaa eri teknologioiden toimialakohtaista luonnetta vaikkakin valmiit tuotteet ja erityisesti palvelut jatkossakin tyypillisesti erikoistuvat toimialojen mukaan. Odotettavissa on kuitenkin, että robotisaatio teknologian voimakkaan geneerisyyden vuoksi kypsyessään transformoi yhteiskuntaa ja murtaa perinteisiä toimialarakenteita. Yhdistäviä tekijöitä, synergiaa ja tehokkuutta sekä lisäarvoja etsittäessä on tarkasteltava toimialarajat ylittäviä arvonluontimahdollisuuksia. Siinä työssä tämä taulukko on katalysoi sekä yksityiskohtaista ajattelua, avaa robotisaation dynaamisia vaikutuksia ja vahvistaa holistista katsantoa. Taulukko ei silti pyri olemaan kattava.

Osa robotisaatioselvityksestä LVM&TEMmille. Käytetty Radikaalien teknologioiden nelitasomallia, joka on kuvattu Tulevaisuusvaliokunnan julkaisussa "Suomen sata uutta mahdollisuutta", Linturi, Kuusi, Ahlqvist, 2013. Tämän taulukon ovat laatineet Risto Linturi ja Ossi Kuittinen. Osa riviotsikoista kuvaa arvonluontiverkostonsa suurinta muutostekijää. Arviot tehtiin koko kuvatun arvonluontiverkoston mukaan.

1. Henkilöautoliikenteen automatisointi
2. Tavaraliikenteen automatisointi
3. Lähivalmistus ja teollisen rakenteen murros
4. Kaupan ja palveluiden virtualisoituminen
5. Lähiruoka ja funktionaalinen ravinto
6. Etäläsnäolo ja työkalujen kauko-ohjaus
7. Oppimisen ja opastuksen yksilöllistyminen
8. Toimintakykyä tukeva omatoim. ja yksilöll. terveydenh.
9. Toimintakyvyn lisääminen toimintakykynsä menettäneille
10. Tietoisuutta toimintaympäristöstä lisäävät välineet
11. Toiminnalliset materiaalit ja uudet materiaaliteknologiat
12. Tavarán älykkyyden toiminnalliset lisäarvot
13. Kestävän kehityksen energiateknologiat
14. Raaka-aineet hyödyntämättömiltä alueilta ja avaruudesta
15. Viihteen, kulttuurin ja vaikuttamisen osallistuvat muodot
16. Maanpuolustus ja terrorismin torjunta
17. Tilojen ja rakenteiden toiminnallistuminen
18. Itseorganisoituvat yhteisölliset toimintatavat
19. Identiteettien ja sosiaalisten rakenteiden virtualisoituminen
20. Demokratia, vapaus ja sosiaalinen koheesio

	robotisoitu tieliikenne	robotilennokit	robotisoitu tavaroiden tunnistus ja siirtely	robotisoitu työ ja valmistus	sosiaaliset robotit ja etiäiset	diagnostiikka- ja valvontarobotiikka	kauko-ohjattavat robotityökalut	biotalouden ja elinympäristön robotisaatio	roboti-avusteet ja älykkäät proteesit	mikro-, nano- ja biorobotit	
1. Henkilöautoliikenteen automatisointi	20	1	3		3	3	5	1			36
2. Tavaraliikenteen automatisointi	10	10	10			5	5	3		3	46
3. Lähivalmistus ja teollisen rakenteen murros	3	3	3	20	1	5	5	5	3	3	51
4. Kaupan ja palveluiden virtualisoituminen	5	10	5	5	3	5	5	3	1	3	45
5. Lähiruoka ja funktionaalinen ravinto		3	3	5	1	5	3	10	3	3	36
6. Etäläsnäolo ja työkalujen kauko-ohjaus	5	3	3	3	10	5	10	5	3	3	50
7. Oppimisen ja opastuksen yksilöllistyminen	3		1	1	10	1	1	3	5	3	28
8. Toimintakykyä tukeva omatoim. ja yksilöll. terveydenh.		1	1	3	3	5	3	1	5	5	27
9. Toimintakyvyn lisääminen toimintakykynsä menettäneille	5	1	3	3	3	3	1	3	20	3	45
10. Tietoisuutta toimintaympäristöstä lisäävät välineet	3	5	3		3	5	5	5	10	10	49
11. Toiminnalliset materiaalit ja uudet materiaaliteknologiat				5		1		5		10	21
12. Tavarán älykkyyden toiminnalliset lisäarvot	1	1	3	5		5	5	3	1	5	29
13. Kestävän kehityksen energiateknologiat	5	3				1	3	5			17
14. Raaka-aineet hyödyntämättömiltä alueilta ja avaruudesta				3		3	5	5		1	17
15. Viihteen, kulttuurin ja vaikuttamisen osallistuvat muodot	1	1	3	1	10	3	1	1	5	5	31
16. Maanpuolustus ja terrorismin torjunta	1	3	5	3	1	10	10		5	10	48
17. Tilojen ja rakenteiden toiminnallistuminen	10	3	3		1	5	5	5		5	37
18. Itseorganisoituvat yhteisölliset toimintatavat	3	3	3	3	3	5	3	1			24
19. Identiteettien ja sosiaalisten rakenteiden virtualisoituminen	1	1		1	5		1	1	1		11
20. Demokratia, vapaus ja sosiaalinen koheesio	3	1	1	3	5	5		1	3	5	27
Summa	79	53	53	64	62	80	76	66	65	77	

Monet tulevat innovaatiot muodostuvat prosessien ja teknologioiden kombinaatioista. Käytännön laitteet ja järjestelmät koostuvat joko yhdestä tai useammasta kuvatusista teknologiasta. Ekosysteemien osat ja rajapinnat ovat tyypillisesti teknologiakohtaisia. Yksittäisillä kuvatuilla teknologioilla on suuria vaikutuksia usein toisistaan riippumatta.

Arvonluontiverkostoja ei voi tämän taulukon avulla laittaa tärkeysjärjestykseen. Taulukko kuitenkin antaa arvonluontiverkostojen osalta viitteitä siitä, kuinka monipuolinen ja vaikeasti ennustettava robotisaation vaikutus kussakin arvonluontiverkostossa voi olla. Esimerkiksi henkilöliikenteeseen liittyvässä arvonluontiverkostossa vaikutukset ovat verrattain selväpiirteisiä yhden teknologisen kokonaisuuden tuottaessa selkeästi suurimman lisäarvon, mutta logistiikkaan liittyvässä arvonluontiverkostossa dynamiikka on jo huomattavasti monimutkaisempi useiden eri teknologioiden tuottaessa hyvin merkittävän lisäarvon.

Teknologioita tarkasteltaessa havaitaan, että niissä on kypsyyseroja. Monista teknologioista ja niiden hyödyistä voidaan kohtuullisella varmuudella arvioida potentiaalisten hyötyjen merkittävässä määrin realisoituvan. Osa hyödyistä edellyttää teknologian sellaista kehitystä, joka ei joko ole täydellä varmuudella tehtävissä tai edellyttää panostusta, josta ei ole täyttä varmuutta. Useilla alueilla hyötyjen realisoituminen on epävarmaa osaamisvajeiden ja regulaatioympäristön esteiden tai insentiivien puutteiden, esimerkiksi oligopolin vuoksi.

Yhteiskunnallisesti tärkeää olisi kiinnittää huomio niihin teknologioiden ja arvonluontiverkostojen solmukohtiin, joilla on kotimarkkinoilla potentiaalisesti miljarditason vaikutuksia. Näiden tieltä tulisi raivata esteet sekä luoda sellainen sosiotekninen regiimi huomiotalouksineen, regulaatioineen, osaamisineen ja insentiiveineen, jossa mainittu arvonluonti ei ole mahdotonta. Mikäli tämä onnistutaan tekemään nopeasti ja olemaan teknologiamielessä nopea omaksuja, tarjoavat tällaiset alueet lukuisia mahdollisuuksia myös viennin kannalta. Näiden suurimpien hyötypotentiaalien mahdollistaminen avaa käytännössä myös useimmat pienemmät hyötypotentiaalit ja synnyttää tarvittavat uudet ekosysteemit.

## **7. Rakenteisiin kohdistuvat sopeutumispaineet**

Nykyinen laaja hyvinvointi on syntynyt teknologian ja työkalujen sekä niiden käyttöön liittyvien menetelmien kehityksen myötä. Työkalujen paraneminen entisestään, joka on robotisaation perimmäinen merkitys, voi johtaa hyvinvoinnin heikkenemiseen vain sen kautta, ettei uusia työkaluja laajasti omaksuta tai ne päätyvät vain harvojen käyttöön.

Robotisaatio lisää työn tuottavuutta, tuo uusia lisäarvoja sekä laajoja hyötyjä koko yhteiskunnalle, mikäli teknologia omaksutaan nopeasti ja hyvin. Avainasemassa on kotimarkkina ja pk-sektori. Radikaalit teknologiat yleistyvät nopeimmin pienissä yrityksissä, mikäli kotimarkkinakysyntä on edistyksellistä. Koska merkittävät innovaatiot ovat systeemisiä, karttavat ne alueita, joiden toimintaympäristö ja asenteet ovat vanhakantaisia.

Tuleva teknologinen toimintamalli on hajautettu, yksilöllinen, paikallinen, monipuolisesti työllistävä ja tuotantotavoiltaan joustava: Paikallisen markkinoita lähellä olevan ja yksilöllisen pientuotannon merkitys kasvaa suuruuden ekonomin vähetessä. Koneiden joustavuus vähentää investointien riskejä. Varastointi-, logistiikka- ja markkinointikustannusten väheneminen aiheuttaa säästöjä. Tuotantolinjan monipuolisuus ja pientuotanto itsessään toisaalta kasvattavat tuotannon henkilövaltaisuutta. Entistä suurempi osa työstä tulee tämän vuoksi liittymään laitteiden käyttöön sekä asiakaspalveluun perinteiseen automatisoituun teollisuuteen verrattuna.

Professori Frank W Geels kuvaa tutkimuksissaan sosioteknisen regiimin vaikutuksia yhteiskuntien teknologisessa uusiutumisessa. Viitteessä (Geels, 2002) hän jäsentää seitsemän dimensiota sosioteknisille regiimeille. Nämä ovat teknologia itsessään, käyttäjätottumukset ja sovellusalueet eli markkina, teknologian symboliset merkitykset, infrastruktuuri, teollinen rakenne, regulaatioympäristö ja teknistieteellinen tieto. Sosioteknisen regiimin täytyy usein muuttua olennaisesti erityisesti radikaalien teknologisten muutosten edellä, jotta markkinamekanismi kykenisi muutuksia edistämään.

Monilla alueilla, erityisesti oligopolitilanteissa suurilla yrityksillä on halu säilyttää vallitseva tilanne mahdollisimman pitkään. Ne kykenevät suuruuden ekonomian vallitessa ja asiakastuntemuksensa varassa usein pitämään uudet pienet markkinoilletulijat loitolla jälkimmäisten paremmasta teknologiasta huolimatta. Muutosta voidaan tästä huolimatta jouduttaa monin tavoin. Monet huomiotalouden keinot esimerkiksi ovat hallinnon käsissä. Uutta teknologiaa voidaan suosia julkisissa hankinnoissa. Sen käyttöä rajoittavia tai estäviä regulaatioita voidaan purkaa. Pieniä toimijoita haittaavia regulatiivisia esteitä voidaan poistaa esim. julkisia hankintoja avaamalla avointen rajapintojen avulla. Uuden teknologian koulutusta ja muita siihen liittyviä palveluita voidaan lisätä. Uuteen teknologiaan liittyviä käytäntöjä ja ekosysteemejä katalysoivia alustoja ja toiminnallisia rooleja voidaan luoda. Nämä toimet nopeuttavat uuden teknologian omaksumista.

Internetin tullessa 90-luvun puolivälissä ajankohtaiseksi teemaksi sitä käytti samanaikaisesti vain hyvin pieni osa suomalaisista. Regulaatioympäristöä muutettiin uusia toimijoita suosivaksi, johtavat poliitikot kiinnittivät internetiin huomiota useimmissa julkisissa puheissaan, kirjastolaitos valjastettiin kansanvalistukseen, palveluita ryhdyttiin tuottamaan Internetin kautta ja teollisen rakenteen kehitystä tuettiin innostamalla aktiivisesti uusia ja vanhoja toimijoita internet-alueelle. Sosiotekninen regiimi muuttui nopeasti, Suomi oli teknologian nopeimpia omaksujia ja tämä synnytti monia uusia vientiyrityksiä.

Suomi on nyt näköalattomassa tilanteessa. Teknologisia mahdollisuuksia on valtavan paljon, mutta niistä puhutaan hyvin vähän eikä ylin päättäjäkerros vaikuta olevan kiinnostunut. Tämä vaikuttaa myös mediaan, jonka seurauksena muu yhteiskuntakin kokee tarpeettomaksi reagoida teknologiseen kehitykseen tai seuraa sitä vain pelonsekaisin tuntein. Robotisaatio antaa mahdollisuuden suunnata yhteiskunnan toimintatarmoa uudistuksiin, mutta tämä edellyttää kaikkien sosioteknisen regiimin ulottuvuuksien määrätietoista käyttöä.

Robotisaatio aiheuttaa selkeitä paineita moniin nykyisiin rakenteisiin. Media ja paperiteollisuus sekä pankkisektori ovat jo kohdanneet aineettoman digitalisaation vaikutukset volyymien, katteiden ja henkilötöiden vähenemisenä. Verkkokaupan kehitys ja kivijalkaliikkeiden sekä tavaratalojen ahdinko on osin seurausta tästä samasta aineettomasta digitalisaatiosta, mutta osin myös logistiikan robotisaatiosta. Robotisaatio haastaa jatkossa monet fyysiseen paikkaan sidotun kaupan osa-alueet vielä paljon nykyistä voimakkaammin. Toisaalta kaupan on mahdollista myös hyötyä robotisaatiosta. Lähikauppa voisi robotisaation avulla ottaa suorittaakseen osan teollisuuden tehtävistä, kuten ruokakauppa on jo tehnyt. Robottien avulla erityisesti erikoisliikkeet voisivat kustannustehokkaasti valmistaa tavaroita ja elintarvikkeita pienissä sarjoissa ja asiakaskohtaisesti.

Monet palvelut tulevat korvatuiksi virtuaalisilla palvelutiskeillä ja itsepalvelulla. Robotisaation avulla palvelut on toisaalta nykyistä helpompi ulottaa tarvitsijoiden luo kuluttamatta matkoihin aikaa. Näihin palveluihin kuuluvat monet kunnossapidon tehtävät, asiantuntijatehtävät ja esimerkiksi opetustehtävät.

Robotisaatio vaikuttaa melko nopeasti rakentamiseen ja logistiikkaan vähentäen näiden työvoimavaltaisuutta. Teollisuuteen robotisaatio vaikuttaa sitä hajauttavasti tehtävien hitaasti siirtyessä osaksi kauppaa ja palveluita.

Liikenteen robotisaatio aikaansaa optimaalisessa tilanteessa tässä selvityksessä esitetyistä asioista suurimmat taloudelliset vaikutukset. Kansantaloudelliset säästöt ovat jo vähäisen etenemisen kautta miljarditasolla vuosittain ja kehityksen edetessä vaikutukset rakennettuun ympäristöön ja alueelliseen arvonmuodostukseen erittäin suuret.

Koko yhteiskunnan tasolla robotisaatio kasvattaa rakenteiden dynamiikkaa ja muutosten epälineaarisuutta. Keskitetystä suunnittelusta tulee yhä vaikeampaa ja suuret hankkeet tulee perustella yhä lyhyemmillä takaisinmaksuajoilla. Kun samanaikaisesti yksilötasolla saadaan käyttöön yhä monipuolisempia ja tehokkaampia robotisoituja työkaluja, tulee päätöksentekoa ja sen vastuuta jakaa tämän mukaisesti. Yhteiskuntaa tulee kehittää siten, ettei sitä enää ohjata yhdenmukaiseen toimintaan hitaasti muuttuvien regulaatioiden kautta vaan karsitaan regulaatioita ja luodaan niiden sijaan ruohonjuuritason erikoistumista ja vaihdantaa eli yhteistyötä ja itseorganisoiuvuutta katalysoivia ja tukevia alustoja.

Keskitetuille ratkaisuille tulisi hakea kokeellisuuden kautta elastisuutta (paikalliset tai aihealuekohtaiset kokeilut) ja lupaa välineellisten normien rikkomiseen. Tällainen alusta mahdollistaa longtail-efektin ja lukuisten hyvin erikoistuneiden robotisaatioon perustuvan palveluiden tehokkaan/kannattavan tuotannon.

Digitaalisen tietopohjan systeemisen arkkitehtuurin tulee olla vikasietoinen eikä siihen saa sisältyä keskitettyjä riskejä, joiden toteutuessa jokin yhteiskunnan kannalta kriittinen toiminto keskeytyisi tavalla, jossa merkittävä joukko ihmisiä jäisi kokonaan ilman palveluita (Taleb). Systeemisen arkkitehtuurin tulee myös olla inhimillisiä tekijöitä huomioiva, intuitiivinen ja eksperimentaalinen vs. analyttinen rationaalinen (Kopetz). Kognitiivisen tietojenkäsittelyn tuoma analyttinen kyvykkyys täytyy täydentää inhimillistämällä robotit affektiivisella ja konatiivisella kyvykkyydellä, tämä mahdollistaa luonnollisemman kommunikaation robottien kanssa (enaktiivisuus).

Robotisaation vaatiman digitaalisen tietopohjan infrastruktuuri ja ekosysteemiarkkitehtuurin katalysointi tulisi tehdä Liikennetiedon visiot -selvityksessä esitetyn mukaisesti. Erityisen tärkeitä ovat 1. ihmiseen liittyvän datan ihmiskeskeinen käsittely ja säilytys omadata-regulaation kautta, jonka tulisi mahdollistaa käyttöoikeuksien ja roolin tunnistaminen, yksilöön liittyvän digitaalisen tiedon yhdistely eri sovellusalueilla hänen hyödykseen ja hänen luvallaan sellaisin rakentein, jotka eivät riko yksityisyyden suojaa. 2. tavaroiden yksilöllisesti osoitettavalla tavalla internetissä vastaavat tietueet, eli tavaroiden internet, ja laitteiden ohjaustapojen vakiointi eli teollinen internet. 3. palveluiden ja niiden yhteensopivuuden tunnistaminen. 4. robotisaation reaaliaikaisen ohjauksen ja valvonnan vaatimien langallisten ja langattomien taattujen kaistojen synnyttäminen kaupallisina palveluina. 5. Paikkatietoon liittyvän koneluettavan tiedon yhtenäisyyden aikaansaanti kaikessa viranomaisen avoimessa datassa. 6. Robotisaation toimialakohtaisen ja teknologiakohtaisen digitaalisen tietopohjan yleisten periaatteiden ja toiminnallisten alustojen katalysointi (Arthur).

Nopean omaksumisen vuoksi tulee ottaa riskejä ja hyväksyä virheitä. Mikään ei ole aluksi täydellistä eikä mistään tule täydellistä, jos kokeiluja tehdään vain laboratorioissa. Suomen on avauduttava uudelle teknologialle ja tehtävä se rohkein mielin. Konkreettisia tekoja läpimurtojen saavuttamiseksi on esitetty lopuksi liitteessä 1. Muutos tapahtuu tekemällä.

## Liite 1

Seuraavia erityisiä toimia pidetään tärkeinä kullakin teknologia-alueella:

**Robotisoitu tieliikenne** edellyttää hyvin nopeita ja konkreettisia kokeiluja, jotka saavat suuren mediahuomion. Näiden tulee teknologian keskeneräisyyden vuoksi tähdätä nopeisiin pikavoittoihin. Esimerkiksi Lapissa rauhallisilla tieosuuksilla osin autonomisesti ja hankalissa tilanteissa kauko-ohjatusti toimiva lumiaura osoittaisi erinomaisesti suomalaista osaamista ja todistaisi sen, ettei lumi ole liikenteen robotisaation este. Tämä tulisi toteuttaa vuodenvaihteeseen 2015/2016 mennessä, jotta edelläkävijyydestä voidaan puhua. Robotisoidut kevytajoneuvot tulisi myös vapauttaa muiden maiden tavoin. Robotisoituja joukkoliikennevälineitä tulisi saattaa mahdollisimman nopeasti näkyville ja helpoille reiteille, esimerkiksi reiteille, joilla 20km/h nopeus on riittävä. Robottiliikenteen digitaalisen tietopohjan osalta on ryhdyttävä pikaisesti selvittämään sekä Googlen että Nokian kanssa kansallisen paikkatietoaineiston riittävyyttä robottiliikenteen digitaalisen tietopohjan tarpeisiin ja ryhtyä tarvittaviin toimiin sen riittävyyden takaamiseksi.

**Robottilennokit** tulee välittömästi saada sellaisiin kokeiluihin, joissa rajatulla alueella kaupallinen toiminta tavaraliikenteessä on sallittu. Tällaisia alueita voivat olla vaikkapa saariston lääkejakelu ja harvaan asuttujen alueiden postinjakelu. Lähijakelussa käytetyille nelikoptereille tulee kaavoittajan kanssa yhdessä suunnitella kävelyetäisyydellä olevat turvalliset nelikopterilla jaeltavien tavaroiden yhteiskäyttöiset jakeluvaramat. Jakeluvaramatoille tulee laatia osoitteisto ja koordinaatisto osana muuta osoitteistoa. Robottilennokkien kokeilijoille tulisi saada koealueet sekä teknisten että operatiivisten kokeilujen suorittamiseen. Pk-yrityksille tulee kokeilutoimintaan järjestää yhteinen takausjärjestelmä, mikäli vakuutusyhtiöt eivät kykene alkuvaiheessa riskejä arvioimaan.

**Robotisoitu tavaroiden tunnistus ja siirtely** edellyttää tavaroiden tunnistamisen hyötyjen maksimoinniksi vakioitua internetissä sijaitsevaa tietorakennetta, jossa kullakin yksilöllisesti tunnistetulla tavaralla on oma tietueensa sekä tietokantaa, jossa on visuaaliseen tunnistukseen riittävä tieto mahdollisimman monesta eri teollisesti valmistetusta tavarasta. Näiden kehitystä ja standardoittamista toimialarajojen yli tulee voimakkaasti rohkaista. Tästä tulisi käynnistää kansallinen viranomaisten ja yritysmaailman yhteinen hanke.

**Robotisoitu työstö ja valmistus** on Suomessa edennyt monia kilpailijamaita hitaammin meidän teollisen rakenteemme vuoksi ja osin yleisen innottoman ilmapiirin vuoksi. Pikavalmistuksen mahdollisuuksia tulisi pyrkiä huomiotalouden keinoin edistämään ja voimakkaasti suuntaamaan julkisen vallan piirissä olevia toimijoita, kuten esimerkiksi sosiaali- ja terveysalaa sekä puolustusvoimia käyttämään uusinta teknologiaa hyväkseen. Uusi teknologia mahdollistaa sen, etteivät palvelutoimijat enää osta itse kaikkia tavaraa vaan valmistavat itse sellaiset tavarat, joissa yksilöllisyydellä tai logistiikan yksinkertaisuudella on merkittävä lisäarvo, ja joihin uusi teknologia rajoituksineen sopii. Kansallisesti merkittävistä arkisista tavaroista tulisi tuottaa tulostuskelpoiset 3D-mallit.

**Sosiaaliset robotit ja etiäiset** kehittyvät hyvin nopeasti ja ovat jo monilta osin toimivaa teknologiaa esimerkiksi kokoustiloissa, museoissa ja vanhustenhoidossa. Näitä uusia viestinnällisiä keinoja tulisi ottaa julkishallinnossa ja julkishallinnon tuottamissa palveluissa käyttöön ja rohkaista tällä tavoin myös yrityksiä ja kansalaisia niitä käyttämään.

**Diagnostiikka- ja valvontarobotiikka** ei tule laajasti käytetyksi ilman yhteistä digitaalista tietopohjaa. Visuaalisen ja spektroskooppisten menetelmien sekä muiden diagnostisten menetelmien edistämiseksi tulisi katalysoida digitaalinen tietopohja, jossa on mahdollisimman monien eri materiaalien, nesteiden ja kaasujen koostumuksen ja biologisten ominaisuuksien erilaisin menetelmin tunnistamista varten riittävät tiedot koneluettavassa muodossa. Terveystieteiden osalta tulisi kansallisena hankkeena katalysoida kansalaisten käyttöön itsediagnostiikan menettelyitä ja välineitä ja ratkaista näihin liittyvät vastuukysymykset sekä mahdollistaa yksinkertaisissa tapauksissa lääkärin korvaaminen koneellisella diagnoosilla. (Tricorder Xprize)

**Kauko-ohjattavat robottityökalut:** Robottityökalujen siirtyminen tai niiden robotisoitu siirto paikasta toiseen julkisilla liikennereiteillä tulisi tehdä mahdolliseksi. Kauko-ohjattavien työkalujen, kuten lumiaurojen siirtyminen itse tai vaikkapa kävelevän maalausrobotin siirtäminen itse itseään ajavalla autolla avaa kauko-ohjatuille työkoneille suuren markkinan. Merkittävimmät säästöt liittyvät näissä matka-aikoihin. Kauko-ohjauksen mahdollistavat viiveettömät ja taatut tietoliikenneyhteydet tulee saada aikaan regulatiivisin keinoin.

**Biotalous ja elinympäristön robotisaatio:** Biotaulouden prosessit tulee mallintaa osaksi digitaalista tietopohjaa, jotta esimerkiksi hajautettu vesiviljely tai robotisoitu metsänhoito muuttuisivat käytännölliseksi muutoinkin kuin vain laitetoimittajasidonnaisissa rakenteissa. Digitaalisen tietopohjan luonti tulisi tältä osin olla luonteva osa yliopistojen toimintaa. Keinovalolla tapahtuvaa fyysisesti hajautettua, mutta keskitetysti ohjattua robotisoitua ympärivuotista vesiviljelyä tulisi ryhtyä laajamittaisesti kokeilemaan Suomessa.

**Robottivälineet ja älykkäät proteesit:** Sosiaali- ja terveysalan tulisi nopeasti kokeilla liikkumista avustavia robotisaation keinoja, kuten robottijalkoja, ja verrata näiden kustannuksia pyörätuoleihin, esteettömän liikkumisen rakenteisiin ja pyörätuoliavustajiin sekä myös vaikutuksia heikkojalkaisten ihmisten kuntoutumiseen. Esteettömästä liikkumisesta käytävä keskustelu ja päätöksenteko tulisi suorittaa robottivälineiden nopea kehitys huomioiden. Suunnittelun tueksi tulisi tehdä analyysi robottivälineiden (robottijalkojen) vaikutuksista esteettömän rakentamisen tarpeeseen.

**Mikro-, nano- ja biorobotit:** Aihealue on tutkimuksellisesti tärkeä ja sitä on seurattava.

## Lähteet ja viitteet

W. Brian Arthur, 2009, The Nature of Technology, Free Press

DHL 2014

[http://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about\\_us/logistics\\_insights/dhl\\_self\\_driving\\_vehicles.pdf](http://www.dhl.com/content/dam/downloads/g0/about_us/logistics_insights/dhl_self_driving_vehicles.pdf)

Emile Durkheim 1893, Division of Labour in Society, Simon and Schuster

Gartner 2014, <http://www.gartner.com/newsroom/id/2887417>

EU Mobility and Transport Statistics:

[http://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/specialist/statistics/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics/index_en.htm)

Frank W. Geels, 2002, Technological transitions as evolutionary reconfiguration processes, Elsevier, <https://www.sussex.ac.uk/webteam/gateway/file.php?name=fac-fgw-rp2002&site=25>

Alexander Hars 2014, Driverless car market watch, <http://www.driverless-future.com/?cat=4>

Hermann Kopetz, 2011, Real-Time Systems – Design Principles for Distributed Embedded Applications, Springer

Linturi 2013, Automaattisen liikenteen metropolivisio, Sovelto,

[https://www.sovelto.fi/yritys/tiedotteet/Documents/Loppuraportti\\_automaattisen\\_liikenteen\\_metropolivisio.pdf](https://www.sovelto.fi/yritys/tiedotteet/Documents/Loppuraportti_automaattisen_liikenteen_metropolivisio.pdf)

Linturi, Kuusi, Ahlqvist 2013, Suomen sata uutta mahdollisuutta, Eduskunta,

<http://web.eduskunta.fi/dman/Document.phx?documentId=ie27613151734377>

Linturi, Kuittinen 2014, Liikennetiedon visiot, Liikennevirasto,

[http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts\\_2014-42\\_liikennetiedon\\_visiot\\_web.pdf](http://www2.liikennevirasto.fi/julkaisut/pdf8/lts_2014-42_liikennetiedon_visiot_web.pdf)

Spieser & al. 2014, <http://www.forbes.com/sites/chunkamui/2014/04/17/mit-and-stanford-researchers-show-robotaxis-could-replace-private-cars-and-public-transit/> & <http://dspace.mit.edu/handle/1721.1/82904>

Nassim Nicholas Taleb, 2012, Antifragile – Things That Gain from Disorder, Random House

TEM 2014,

[http://www.tem.fi/files/40889/30\\_2014\\_TEM\\_katsaus\\_suomalaisen\\_tyon\\_tulevaisuuteen\\_25082014.pdf](http://www.tem.fi/files/40889/30_2014_TEM_katsaus_suomalaisen_tyon_tulevaisuuteen_25082014.pdf)

Shoshana Zuboff & James Maxmin, 2004, The Support Economy, Penguin

Tricorder Xprize [http://tricorder.xprize.org/?gclid=COK\\_0rudlsMCFUIGcwodjHIAgQ](http://tricorder.xprize.org/?gclid=COK_0rudlsMCFUIGcwodjHIAgQ)

Aihetta käsittelevät Facebook-ryhmät, joissa laajasti tuoreita lähteitä:

**Tulevaisuusvaliokunnan radikaalit teknologiat -joukkoistus, Robottiliikenteen hyödyt, ratkaisut ja esteet, Robotics Finland**

Tekstiä arvioineet ja siihen ideoita kontribuoineet henkilöt:

Kate Alhola, Juha Ekberg, Paul Godsmark, Ilkka Hannula, Mari Heimala, Mikko Huuskonen, Pauli Isoaho, Pekka Järvinen, Jari Kaivo-oja, Tuomo Kalliokoski, Timo Karjalainen, Kimmo Kivelä, Arvo Kukko, Matti Kutila, Pekka Lampelto, Jouni Laveri, Antti Lindström, Tatu Lund, Jyrki Luttinen, Leena Merisaari, Marco Mäkinen, Seppo Nikkilä,



Niko Papula, Ville Peltola, Petri Peltonen, Niko Porjo, Matti Pyykkönen, Tapio Rinne, Simo Salo, Juho Satti, Jouni J. Särkijärvi, Laura Tiilikainen, Kari Vahtiala, Harri Vartiainen, Haract Zentek